



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN UNA PARCELA
DEMOSTRATIVA EN EL CANTÓN CEVALLOS”**

**MARCO PATRICIO RAMOS RAMOS
DARÍO FRANCISCO BÁEZ RIVERA**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-06-24

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MARCO PATRICIO RAMOS RAMOS
DARÍO FRANCISCO BÁEZ RIVERA

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
EN UNA PARCELA DEMOSTRATIVA EN EL CANTÓN CEVALLOS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. César Astudillo.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARCO PATRICIO RAMOS RAMOS

DARÍO FRANCISCO BÁEZ RIVERA

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN UNA PARACLA DEMOSTRATIVA EN EL CANTÓN CEVALLOS”

Fecha de Examinación: 2013-06-28

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Hernán Samaniego (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Marco Santillán (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. César Astudillo (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basada en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Marco Patricio Ramos Ramos

Darío Francisco Báez Rivera

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil para la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

Marco Ramos

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a la escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por hacer de mí persona alguien productivo frente a las necesidades de nuestra sociedad.

Para mi madre y hermano, que siempre han estado ahí en los momentos alegres y penumbrosos; por su apoyo incondicional, a todos los amigos con quienes hemos compartido innumerables momentos de algarabía y a todas aquellas personas que contribuyeron para alcanzar este objetivo en mi vida.

Darío Báez

DEDICATORIA

A mi querida madre, quien con ardua perseverancia apoyó en todo momento el desarrollo de mi carrera.

Marco

A mi madre y hermano, si el amor tuviera un límite ustedes fueran aquel, gracias por todo el esfuerzo y la confianza puesta en mí.

Darío

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADOS.....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Ventajas e inconvenientes de los sistemas de riego tecnificados	7
2.3 Clasificación de los sistemas de riego	8
2.4 Sistema de riego tecnificado con manguera rígida	9
2.5 Sistema de riego tecnificado por cinta de goteo.....	10
2.5.1 <i>Características del riego por goteo</i>	10
2.5.2 <i>Ventajas</i>	10
2.5.3 <i>Inconvenientes</i>	10
2.6 Sistema de riegotecnificado por surcos	11
2.6.1 <i>Características del riego por surcos</i>	12
2.6.2 <i>Ventajas</i>	12
2.6.3 <i>Inconvenientes</i>	12
2.6.4 <i>Formas y dimensiones de los surcos</i>	12
2.7 Sistema de riego tecnificado por melgas	12
2.7.1 <i>Características del riego por melgas</i>	12
2.7.2 <i>Ventajas</i>	13
2.7.3 <i>Inconvenientes</i>	13
2.8 Sistema de riego tecnificado por aspersión	13
2.8.1 <i>Ventajas</i>	15
2.8.2 <i>Desventajas</i>	16
2.9 Parámetros de diseño para un sistema tecnificado de riego por aspersión....	16
2.9.1 <i>Aspersores</i>	16
2.9.1.1 <i>Por su mecanismo de giro</i>	17
2.9.1.2 <i>Por su presión</i>	19
2.9.1.3 <i>Por su número de boquillas</i>	20
2.9.1.4 <i>Por el ángulo de salida del chorro</i>	21
2.9.1.5 <i>Según el área mojada</i>	22

2.9.1.6	<i>Según la velocidad de giro</i>	23
2.9.1.7	<i>Por el tamaño de la zona a regar (alcance)</i>	24
2.9.1.8	<i>Características básicas de los aspersores</i>	25
2.10	Distribución del agua sobre el suelo	27
2.11	Tuberías	31
2.11.1	<i>Tuberías PVC</i>	31
2.11.2	<i>Tuberías PE</i>	32
2.11.3	<i>Selección del diámetro de la tubería</i>	32
2.12	Bomba centrífuga	33
2.13	Accesorios (Fittings)	35
2.14	Reservorios	36
2.15	Válvulas	36
2.15.1	<i>Válvulas check</i>	36
2.15.2	<i>Válvulas de pie</i>	39
2.15.3	<i>Válvulas de cierre</i>	41
2.15.4	<i>Válvulas de control</i>	45
3.	DISEÑO HIDRÁULICO, DISEÑO AGRONÓMICO, FERTIRRIGACIÓN, AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO Y SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	47
3.1	Diseño hidráulico	47
3.1.1	<i>Caudal</i>	47
3.1.2	<i>Número de Reynolds</i>	47
3.1.3	<i>Rugosidad relativa</i>	48
3.1.4	<i>Viscosidad cinemática</i>	49
3.1.5	<i>El factor “λ”</i>	49
3.1.6	<i>Pérdidas primarias y secundarias en las tuberías</i>	50
3.1.6.1	<i>Ecuación general de las pérdidas primarias</i>	51
3.1.6.2	<i>Ecuación general de las pérdidas secundarias</i>	51
3.1.6.3	<i>Factor k de la ecuación de pérdidas secundarias</i>	51
3.2	Diseño agronómico	52
3.2.1	<i>Cropwat 8.0</i>	52
3.2.2	<i>Introducción a Cropwat 8.0</i>	53
3.2.3	<i>Interfaz de usuario con el software Cropwat 8.0</i>	54
3.2.4	<i>Estructura del programa</i>	54
3.3	Fertirrigación	55
3.3.1	<i>Ventajas de la fertirrigación</i>	57
3.3.2	<i>Inconvenientes de la fertirrigación</i>	57

3.4	Automatización del riego	58
3.4.1	<i>Automatización convencional</i>	58
3.4.2	<i>Automatización con un microcontrolador</i>	59
3.5	Sistema de bombeo de agua	62
4.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO POR ASPERSIÓN	64
4.1	Parámetros de diseño topográfico y climático de la parcela.....	64
4.2	Diseño agronómico.....	65
4.2.1	<i>Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o)</i>	66
4.2.2	<i>Cálculo de la precipitación efectiva</i>	67
4.2.3	<i>Datos del cultivo y de la fecha de siembra</i>	67
4.2.4	<i>Datos de suelo</i>	68
4.2.5	<i>Cálculo del requerimiento de agua del cultivo</i>	68
4.2.6	<i>Programación de riego del cultivo y caudal requerido</i>	69
4.2.7	<i>Resumen técnico agronómico</i>	69
4.3	Diseño hidráulico y esquemático-gráfico.....	70
4.3.1	<i>Elección del aspersor a utilizar</i>	70
4.3.2	<i>Disposición de aspersores en el cultivo</i>	71
4.3.3	<i>Cálculo del caudal requerido</i>	73
4.3.4	<i>Cálculo de las pérdidas en la succión (h_s)</i>	73
4.3.5	<i>Cálculo de las pérdidas en la descarga</i>	77
4.3.6	<i>Cálculo de la altura total de trabajo de la bomba "H"</i>	81
4.3.7	<i>Cálculo del NPSH (d)</i>	81
4.4	Diseño eléctrico y de programación.....	84
4.4.1	<i>Accionamiento manual</i>	84
4.4.2	<i>Accionamiento automático</i>	86
4.5	Construcción del sistema de riego tecnificado por aspersión.....	87
4.5.1	<i>Adquisición de elementos para la construcción del sistema</i>	87
4.5.2	<i>Implementación de los elementos de riego por aspersión</i>	90
4.5.3	<i>Implementación de los elementos eléctricos y de automatización</i>	94
4.6	Pruebas de funcionamiento	96
4.6.1	<i>Pruebas de funcionamiento en modo manual</i>	97
4.6.2	<i>Pruebas de funcionamiento en modo automático</i>	99
5.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	102

5.1	El riego por aspersión	102
5.2	Ventajas de los sistemas de riego por aspersión	102
5.3	Desventajas de los sistemas de riego por aspersión	102
5.4	Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión	103
5.5	Operación de la captación	103
5.6	Cómo realizar el mantenimiento	104
5.7	Cómo funciona la línea de conducción	104
5.8	Reservorio	105
5.9	Operación del reservorio	105
5.10	Mantenimiento del reservorio.....	105
5.11	Válvula principal	106
5.12	Línea de distribución.....	106
5.13	¿Cómo trabaja el tubo?	106
5.14	El tubo puede malograrse ¿por qué?.....	106
5.15	Mantenimiento de la línea de distribución.....	107
5.16	Cámara rompe presión	107
5.17	Válvulas de control	107
5.18	Operación de las válvulas.....	108
5.19	Mantenimiento de las válvulas de control	108
5.20	Válvulas de aire	108
5.21	Mantenimiento de las válvulas de aire	108
5.22	Válvula de purga.....	108
5.23	Operación de las válvulas de purga.....	109
5.24	Hidrantes	109
5.25	Línea móvil de riego	109
5.26	Qué cuidados debo tener al instalar una línea de riego	109
5.27	Cómo debemos guardar la línea de riego una vez terminado el riego	110
5.28	Aspersor de riego	110
5.29	Mantenimiento de un aspersor	110
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
6.1	Conclusiones.....	111
6.2	Recomendaciones.....	112

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Mapa de ubicación geográfica del cantón Cevallos..... 1
2	Modelo de tecnificación de riego..... 6
3	Clasificación de los sistemas de riego..... 8
4	Sistemas de riego con manguera rígida..... 9
5	Emisores de riego integrados y de botón..... 9
6	Sistema de riego con cinta de goteo..... 10
7	Surcos de riego..... 11
8	Melgas de riego..... 13
9	Sistema de riego con aspersores..... 14
10	Componentes principales de un aspersor de impacto..... 17
11	Aspersores de martillo..... 17
12	Aspersores de balancín..... 18
13	Aspersores de reacción..... 18
14	Aspersores de turbina..... 18
15	Aspersores de presión baja..... 19
16	Aspersores de presión media..... 19
17	Aspersores de presión alta..... 20
18	Aspersor de una boquilla..... 20
19	Aspersores de dos boquillas..... 21
20	Aspersores de ángulo bajo..... 21
21	Aspersor de ángulo medio..... 21
22	Aspersores de ángulo alto..... 22
23	Aspersor circular..... 22
24	Aspersores sectoriales..... 23
25	Aspersor de giro rápido..... 23
26	Aspersor de giro lento..... 23
27	Aspersor de gran alcance para cultivos de maíz..... 24
28	Efectos de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada..... 29
29	a) Marco cuadrado o real; b) Marco rectangular; c) Marco triangular o al tresbolillo..... 29
30	Valores de separación entre aspersores y los ramales de aspersión para cada tipo de marco de riego..... 30
31	Tuberías PVC..... 31

32	Tubería PE.....	32
33	Carta para la selección de diámetros en la succión.....	33
34	Carta para la selección de diámetros en la descarga.....	33
35	Familia de curvas Q-H.....	34
36	Bomba centrífuga.....	34
37	Accesorios varios.....	35
38	Reservorios de concreto y de geomembranas.....	36
39	Válvula check tipo columpio.....	37
40	Válvula check de disco basculante oblicuo.....	38
41	Válvula de pie de obturador.....	40
42	Válvula de pie oscilante.....	40
43	Válvula de pie de bola.....	41
44	Válvula de compuerta.....	41
45	Válvula de globo.....	43
46	Válvulas de bola.....	44
47	Válvula de mariposa.....	45
48	Válvulas de control y su funcionamiento.....	46
49	Diagrama de “Moody”.....	50
50	Presentación del software Cropwat 8.0.....	53
51	Pantalla principal del software Cropwat 8.0.....	54
52	Tanque de fertirrigación.....	55
53	Venturi intercalado en una red de riego.....	56
54	Cuba de tratamientos.....	56
55	Bomba de membrana.....	56
56	Métodos de inyección de fertilizante para un sistema de aspersión.....	57
57	Componentes utilizados para la automatización de un sistema de riego..	58
58	Esquema de una automatización con electroválvulas en riego por aspersión.....	59
59	Alturas sistema de cabeza de succión positivo.....	62
60	Datos requeridos por la alfalfa en base a su fecha de siembra.....	67
61	Datos de suelo arenoso proporcionados por Cropwat 8.0.....	68
62	Distribución seleccionada de los aspersores para el sistema de riego tecnificado.....	71
63	Esquema de posición de aspersores y su área de funcionamiento.....	72
64	Diagrama de la succión del sistema.....	73
65	Selección del diámetro de la tubería en la succión.....	74

66	Diagrama de la descarga en el sistema de riego tecnificado.....	78
67	Selección de diámetro de la tubería de descarga para el sistema.....	78
68	Circuito de mando de arranque directo de la bomba.....	85
69	Circuito de potencia del arranque de la bomba.....	85
70	Programa dentro de LOGO! 230RC Modo Lenguaje FUP.....	86
71	Diagrama de cableado para el sistema automático.....	87
72	Inclusión con la comunidad de San Pedro de la ciudad de Cevallos.....	88
73	Capacitación de manejo de nuevas tecnologías en accesorios para el riego por aspersión.....	88
74	Accesorios utilizados en el sistema.....	89
75	Adquisición de diferentes dispositivos utilizados.....	89
76	Relé, contactor, cable, luces piloto, pulsadores, prensa estopa, regletas, riel, etc.....	90
77	Construcción de caja contenedora de bomba y elementos de control del sistema.....	90
78	Anclaje de bomba.....	91
79	Preparación del terreno para enterrar las tuberías.....	91
80	Conexión desde la tubería secundaria hacia los aspersores.....	92
81	Tee de conexión acoplada desde la tubería principal hacia la tubería secundaria mediante una válvula de bola.....	92
82	Aspersor total NETAFIM ubicado de acuerdo a la distribución seleccionada.....	92
83	Aspersor sectorial NETAFIM.....	93
84	Succión y descarga conectadas a la bomba centrífuga.....	93
85	Sistema hidráulico listo para proceder con las pruebas de funcionamiento de orden manual.....	94
86	Preparación caja térmica de control.....	94
87	Distintos trabajos realizados en la caja de control.....	95
88	Caja terminada a) vista por fuera; b) vista por dentro.....	95
89	Datos de placa de la bomba marca WEG.....	96
90	Datos arrojados por la pinza amperimétrica a) Intensidad de trabajo de la bomba b) Intensidad de arranque de la bomba.....	96
91	Funcionamiento del sistema de irrigación de la parcela en modo manual.....	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Análisis ecológico-ambiental del cantón Cevallos..... 2
2	Pluviometría máxima (mm/h) admisible en función de la textura del suelo..... 28
3	Porcentaje de reducción del espaciamiento en función del viento..... 30
4	Factor de pérdidas de la check tipo columpio..... 37
5	Factor de pérdidas de la check de disco basculante oblicuo..... 38
6	Factor de pérdidas de la check oscilante..... 38
7	Factor de pérdidas de la válvula de pie de obturador..... 40
8	Factor de pérdidas de la válvula de pie oscilante..... 41
9	Factor de pérdidas de la válvula de compuerta..... 42
10	Factor de pérdidas de la válvula de globo..... 43
11	Factor de pérdidas de la válvula de bola..... 44
12	Factor de pérdidas de la válvula de mariposa..... 45
13	Coeficiente de rugosidad absoluta, ε para tuberías..... 48
14	Coeficiente “ λ ”, para cálculo de pérdidas primarias en tuberías..... 49
15	Parámetros disponibles de diseño de la parcela..... 64
16	Características topográficas y climáticas de la parcela..... 65
17	Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante Cropwat 8.0..... 66
18	Cálculo de la precipitación efectiva mediante Cropwat 8.0..... 67
19	Requerimiento hídrico de la alfalfa de acuerdo a Cropwat 8.0..... 68
20	Caudal requerido por la alfalfa y su programación de riego Cropwat.... 69
21	Requerimientos técnico-agronómicos de la alfalfa Cropwat 8.0..... 69
22	Selección de aspersores de medio alcance NETAFIM..... 70
23	Parámetros nominales del aspersor NETAFIM 650..... 70
24	Parámetros de disposición de los aspersores..... 71
25	Requerimientos del sistema de riego tecnificado por aspersión..... 82
26	Selección de equipo LG para protección de motores según IEC 60947 - AC3 duty – UL..... 97
27	Funcionamiento de dispositivos de control en modo manual..... 97
28	Funcionamiento de los aspersores en modo manual..... 98
29	Lectura de presiones en las salidas del fluido hacia los aspersores en modo manual..... 99
30	Funcionamiento de dispositivos en modo automático..... 100

LISTA DE ABREVIACIONES

ETo	Evapotranspiración de referencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GPM	Galones por minuto
HP	Caballo de potencia
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
KM1	Contactador
KPa	Kilopascal
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N/A	Normalmente abierto
N/C	Normalmente cerrado
PE	Polietileno
PVC	Policloruro de vinilo
S1	Pulsador de marcha
S0	Pulsador de paro

LISTA DE ANEXOS

A	Junta de usuarios de riego acequia Mocha-Huachi
B	Altitud media de algunas ciudades en el Ecuador
C	Datos del cantón Cevallos
D	Gráficas del tiempo en Cevallos
E	Características técnicas del Aspersor NETAFIM-MEGANET
F	Collages fotográficos
G	Facturas de elementos adquiridos
H	Presión de vapor, densidad específica, viscosidad cinemática del agua a temperaturas específicas
I	Coeficientes de resistencia para reducciones, ampliaciones y difusores
J	Coeficiente de resistencia en accesorios (factor k)
K	Coeficiente de resistencia en válvulas (factor k)

RESUMEN

Se Diseñó y Construyó un Sistema de Riego por Aspersión, que permite aprovechar el recurso hídrico disponible del Cantón Cevallos de manera eficiente en el ámbito agronómico, la escases de agua dotada por la acequia Mocha-Huachi, hace que los turnos de riego vayan disminuyendo paulatinamente, llegando a una frecuencia de riego de un turno cada quince días para cada usuario.

Por ello, se realizó jornadas de capacitación y de concientización entre los moradores de la zona donde se desarrolló el proyecto, empleando herramientas didácticas, accesorios y materiales empleados en la implementación de sistemas de riego, de manera que la población pudo presenciar su aplicación y funcionamiento.

También se elaboró una investigación minuciosa en el ámbito agronómico, hidráulico y eléctrico, sembrando así, conocimientos que puedan aplicarse conjuntamente para obtener un sistema de riego tecnificado innovador y eficaz.

En lo correspondiente al diseño agronómico se empleó el software de computadora Cropwat 8.0, mismo que permite al usuario obtener datos reales de los requerimientos del cultivo, en base a datos climatológicos y condiciones ambientales del cantón Cevallos. Para el diseño hidráulico se manejó cartas, esquemas, gráficos y fórmulas prácticas que permitieron obtener las mínimas pérdidas posibles durante la circulación del agua a través del circuito hidráulico. De igual manera se enfatizó el diseño eléctrico, con el fin de automatizar el sistema de una manera sencilla, práctica y de fácil operación para el usuario.

Finalmente se elaboró un manual de operación y mantenimiento, de modo que el usuario pueda familiarizarse fácilmente con el sistema implementado y pueda realizar actividades básicas de mantenimiento sobre el mismo, mediante una guía práctica.

Como resultado se obtuvo un sistema de riego tecnificado con un alto coeficiente de uniformidad y un eficiente consumo hídrico, logrando así impacto positivo entre los moradores de la localidad quienes presenciaron el trabajo final.

ABSTRACT

It Has been designed and built a sprinkler system, which allows to efficiently use the available hydric source at Cevallos town on its agronomic aspect, the shortage of water provided by the Mocha-Huachi irrigation ditch, makes the irrigation turns keep gradually lowering down, reaching to have an irrigation frequency of one turn every two weeks per use.

Because of this, capacitation and awareness workshops were developed among the inhabitants of the zone where the Project was carried on, using didactics tools, devices and materials used in the implementation of irrigation systems, so that the population of the zone were able to witness its application and functioning.

It was also developed a detailed research in the agronomic, hydric and electric field, setting this way the knowledge that can altogether be applied in order to have an innovate and efficient irrigation system.

Regarding the agronomic desing, the Cropwat 8.0 software was used, which allows the user obtaining real data of the cultivation requirements, base don weather data and environmental conditions of Cevallos town. For the Hydraulic design, charts, patterns, drawings and practical formulas were applied which allowed to get the minimal loss during the water flow through the hydraulic circuit. The same way, the electrical design was emphasized, aiming to automize the system in a simple, practical and easy operational way for the user.

Finally, it was developed an operational and maintenance manual, so the user get easily familiar with the implemented system and would be able to perform basic maintaining task on it, through a practical guide.

As a result, it was obtained a high tech irrigation system with a high uniformity coefficient and an efficient hydric consumption, getting to have a positive impact among the inhabitants of the zone who witnessed the final work.

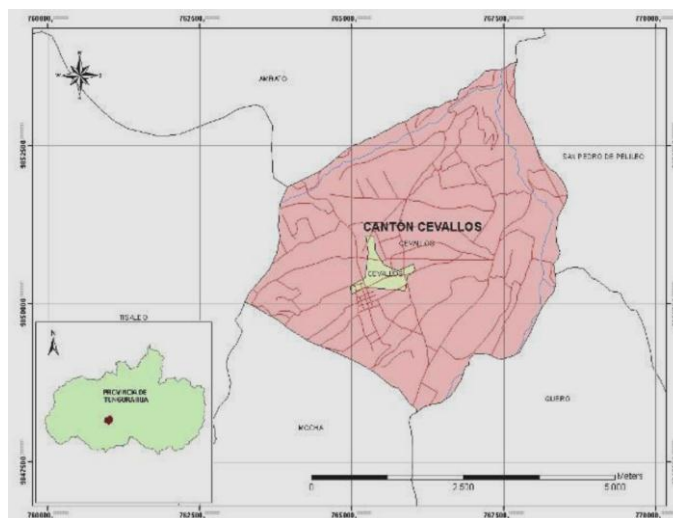
CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Cantón Cevallos, fue fundado el 29 de abril de 1892. Por acuerdo del Concejo Municipal de Ambato, se crea la parroquia, habiendo pertenecido antes a la parroquia de Tisaleo. Cevallos se encuentra a 15 Km., al sur de la ciudad de Ambato. Se ubica en el sector centro-sur de la provincia y al sur-oriental de la ciudad de Ambato. Su jurisdicción limita con Ambato al norte, Tisaleo y Mocha al este. Al sur con Mocha y Quero y al oeste está Pelileo. Está situado en el sector llamado antiguamente Capote Bajo. La extensión, según el INEC es de 17.5 Km². Está conformado por un solo cantón que origina su nombre. Se encuentra ubicado a una altitud de 2908 msnm. El clima es templado en casi todo su territorio (13° a 16° C), sin embargo se registra una disminución de la temperatura entre los meses de mayo y agosto, que se eleva nuevamente a partir de los meses de octubre y noviembre. La precipitación promedio anual es de 659 mm.

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del cantón Cevallos.



Fuente:http://www.consejoprovincialdetungurahua.gob.ec/canton_cavallos&geographic_ub%regpag

La población de acuerdo a las estadísticas sobrepasa los 8.000 habitantes, con una densidad poblacional de 366 hab/Km, siendo la tasa más alta de la provincia. Los habitantes se dedican principalmente a la agricultura y crianza de animales. El estado tiene el deber de proteger a los ciudadanos ecuatorianos que realizan este tipo de actividades, mediante la entrega de servicios de calidad que permitan desenvolverse normalmente.

Su suelo es arenoso y poco arcilloso, ligeramente alcalino, apto para el cultivo de frutales, hortalizas, legumbres y flores. Cevallos se encuentra en una zona andina, tiene una forma accidentada y diversidad de suelos, podemos afirmar que existen suelos predominantemente derivados de materiales piroclásticos, alofónicos, franco arenosos. En la zona alta, de Cevallos, hay suelos poco profundos, erosionados, sobre una capa dura cementada.

El suelo del cantón es ligeramente ondulado, en un plano de inclinación que va desde el punto del camino real de 3.200 m, según la curva de nivel, para unirse a otro punto que es el río Pachanlica de 2.610 m. Los accidentes geográficos que tiene este sector son pequeñas quebradas que han servido de delimitación así como barrancos y elevaciones de cimas planas y laderas de poca profundidad.

El lugar geográfico donde se encuentra asentado el cantón Cevallos corresponde a uno de los sistemas montañosos del callejón interandino. Se nota ligeras ondulaciones del terreno con pendientes que van desde un 50% y en depresiones que llegan hasta el 80% dependiente correspondiente a pequeñas áreas de extensión, con dirección al río Pachanlica, que es un recolector natural del microsistema.

Tabla 1. Análisis ecológico-ambiental del cantón Cevallos

MEDIO NATURAL	OBSERVACIONES
Clima Templado	Apto para la agricultura y producción pecuaria de especies menores.
Corriente de vientos alisos	Viene de oriente a suroccidente
Fuentes de aire-Carihuarazo	Atiende Cevallos, Andignato, Las Palmas
Vertientes naturales	Localizado 18.71 Km del cantón junto al estadio del barrio Jesús del Gran Poder.
Quebradas	Rio Pachanlica (Querochaca), Palahua, Cachiguaico.
Usos de suelo	Barbecho 4,4%, Descanso 5,9%, Pastos cultivados 15,3%, Pastos naturales 0,7%, Bosques 5,9%, Otros usos 3,1%, Permanentes 56,8%.
Agua	Recurso crítico no apta para consumo.

Fuente: Autores

Su actividad principal es la producción agrícola orientada hacia la fruticultura en huertos para el abastecimiento del mercado regional y nacional y ocupa aproximadamente el 70% de la superficie del cantón, circunstancia que ha variado los últimos años por la incidencia de la actividad eruptiva del volcán Tungurahua.

La agricultura se complementa con la ganadería menor, cuyes y conejos y avicultura doméstica. Se destacan también la artesanía de calzado y afines, confecciones y la pequeña industria limitada a la producción avícola para el mercado nacional. Los jóvenes se orientan hacia la artesanía y ofertan mano de obra en Ambato. La avicultura del cantón representa el 3% de la producción nacional.

En base a dichos antecedentes, el Consejo Provincial de Tungurahua ha destinado un monto estimado de \$700.000,00 hacia el desarrollo productivo del cantón Cevallos, incluyendo en gran parte el sector agrícola, con lo cual, se busca involucrar nuevas tecnologías que permitan aprovechar los recursos disponibles de manera adecuada, que trabajen de la mano con el medio ambiente y permitan el desarrollo de la comunidad a un costo accesible.

Uno de los proyectos planteados es la implementación de sistemas de riego tecnificados a gran escala en las áreas agrícolas del cantón. El empleo de dichos sistemas ha ido evolucionando en nuestro país de manera progresiva, sobre todo en áreas agrícolas de gran magnitud, como es el caso de las hectáreas de producción en masa.

Existen diferentes alternativas para la tecnificación de un determinado método de riego, entendiéndose por ello el uso de la técnica, para obtener el máximo beneficio del agua de riego, es decir que gran parte de lo suministrado vaya a las plantas y no se traduzca en pérdidas.

Para lograr dichos objetivos, miembros del Consejo Provincial de Tungurahua trabajan conjuntamente con el Tecnólogo Víctor Benítez (financiador del proyecto), en el desarrollo de un sistema de riego tecnificado en una parcela demostrativa ubicada en el cantón Cevallos.

Misma que permitirá exponer hacia los miembros de las comunidades un modelo sistémico sobre el funcionamiento del sistema y sobre todo de los beneficios obtenidos con dicha implementación, tanto para los cultivos como para los agricultores, con el objetivo de emplear adecuadamente los recursos disponibles y aportando nuevas técnicas al desarrollo del sector productivo del país.

1.2 Justificación

El cantón Cevallos, ubicado en la provincia de Tungurahua-Ecuador, se caracteriza por ser uno de los sectores agrícolas y ganaderos de mayor producción del centro del país.

Productos tales como frutas, hortalizas, legumbres y vegetales de varios tipos provenientes de éste sector abastecen el mercado alimenticio de la región central ecuatoriana, siendo el agua un recurso indispensable para el desarrollo de la actividad agrícola.

La Acequia Mocha-Huachi con un número de 2300 socios (Anexo A), es la destinada al riego del cantón. Sin embargo, el sistema actual no permite que el abastecimiento del recurso hídrico satisfaga las necesidades de los productores. Uno de los principales problemas del sector, es la escasez de agua para el riego de los cultivos y para la cría de animales de granja.

Dicho caudal ha ido disminuyendo con el paso de los años debido a varios factores como: el uso inadecuado del agua, una mala administración del recurso, el calentamiento global, entre otros.

De ahí que surge la necesidad de implementar un sistema de riego tecnificado, que permita que el regadío del agua sea suministrado de manera automatizada en cantidades técnicamente adecuadas de acuerdo al tipo de cultivo, extensión de terreno, condiciones climatológicas y necesidades agro-técnicas.

Permitiendo que el suministro del recurso hídrico satisfaga las necesidades de los productores, además de conseguir un manejo responsable de dicho recurso sin causar impacto ambiental, mejorando las condiciones agrarias del sector obteniendo una mayor y mejor producción.

La implementación de un sistema de riego en una parcela demostrativa, permitirá la capacitación a futuro de los miembros de las comunidades destinadas a optar por este sistema; así mismo, promoverá el uso de técnicas alternativas de riego que permitan aprovechar los recursos naturales, fomentando al desarrollo agro-tecnológico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir un sistema de riego tecnificado por aspersión en una parcela demostrativa ubicada en el cantón Cevallos.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Analizar las condiciones actuales del suministro del recurso hídrico de uso agrícola en el cantón Cevallos.

Diseñar un sistema de control que permita la distribución de agua según el tipo de cultivo, área y condiciones climatológicas del lugar.

Distribuir el recurso hídrico eficientemente sobre la parcela con el fin de evitar el riego innecesario.

Construir y comprobar el funcionamiento del sistema tecnificado de riego.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema de riego tecnificado por aspersión.

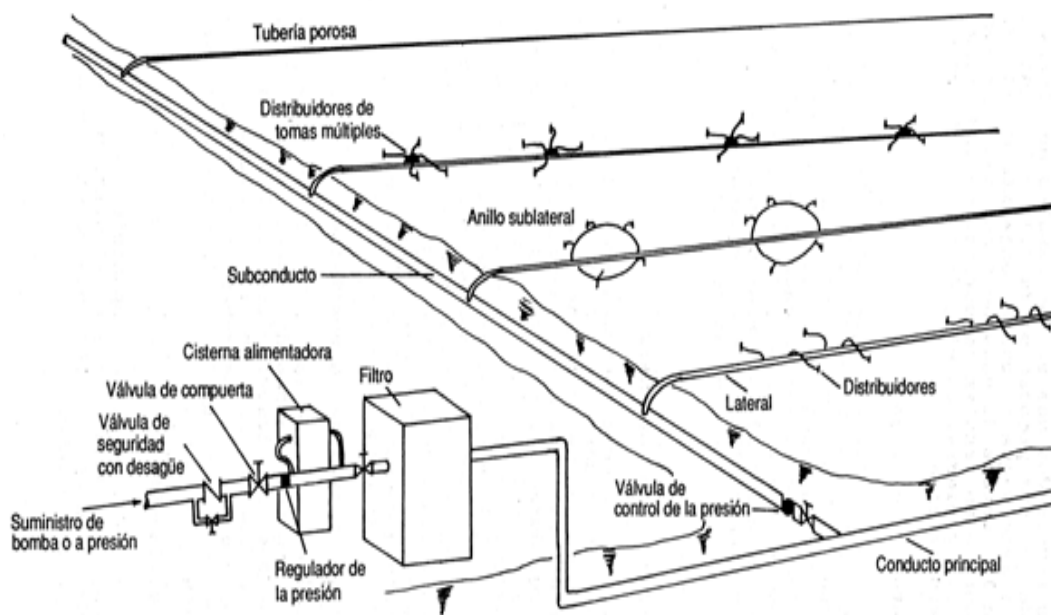
CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADOS

2.1 Introducción

Se conoce que el 75% de la superficie que rodea el manto terrestre de nuestro planeta está constituido por agua; sin embargo, apenas un 2,5% es agua dulce, es decir apta para el consumo humano. El agua es un recurso indispensable para la vida, el cual no es inagotable, por lo que la preocupación de que este agote, se ha incrementado globalmente. Dicho recurso es empleado en grandes cantidades para el desarrollo de la actividad agrícola, por lo que el diseño de sistemas de riego que permitan administrar el agua eficientemente es de suma importancia para su conservación.

Figura 2. Modelo de tecnificación de riego



Fuente: riosdeldesierto.blogspot.com

Se denomina sistema de riego tecnificado, al conjunto de elementos que permiten que la aplicación del agua y los fertilizantes al cultivo sea en forma eficiente, localizada, con una frecuencia adecuada, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno.

Esta aplicación, se hace mediante una red de tuberías (de conducción y distribución de PVC o Polietileno), laterales de riego (mangueras o cintas), con emisores o goteros, con diseños técnicos que entregan pequeños volúmenes de agua

periódicamente, en función de los requerimientos hídricos del cultivo y de la capacidad de retención del suelo.

La tecnificación busca en sí, la optimización del diseño hidráulico, ahorro en energía y dinero, así como la aplicación uniforme de agua en el suelo para mejorar la producción de los cultivos.

2.2 Ventajas e inconvenientes de los sistemas de riego tecnificados

Entre las principales ventajas que caracterizan a un sistema de riego tecnificado, tenemos:

- a) Permite aplicar el agua en forma localizada, continua eficiente y oportuna.
- b) Se adapta a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- c) En paralelo se riega fertiliza y controla plagas, ahorrando tiempo y jornales.
- d) Evita el desarrollo de maleza y la presencia de plagas y/o enfermedades.
- e) Permite aplicar el agua y fertilizante cuando la planta lo requiera, lo cual favorece significativamente el desarrollo de las plantas y producción.
- f) Permite alcanzar entre los 90% y 95% de eficiencia de aplicación, que no se alcanza con otro sistema de riego.
- g) Se puede utilizar aguas salinas dependiendo de la tolerancia del cultivo.

Entre los principales inconvenientes que caracterizan a un sistema de riego tecnificado, tenemos:

- a) Los costos de implementación, funcionamiento y mantenimiento suelen ser relativamente elevados.
- b) Daños a las hojas y a las flores; las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas.
- c) Requiere una inversión importante. El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.

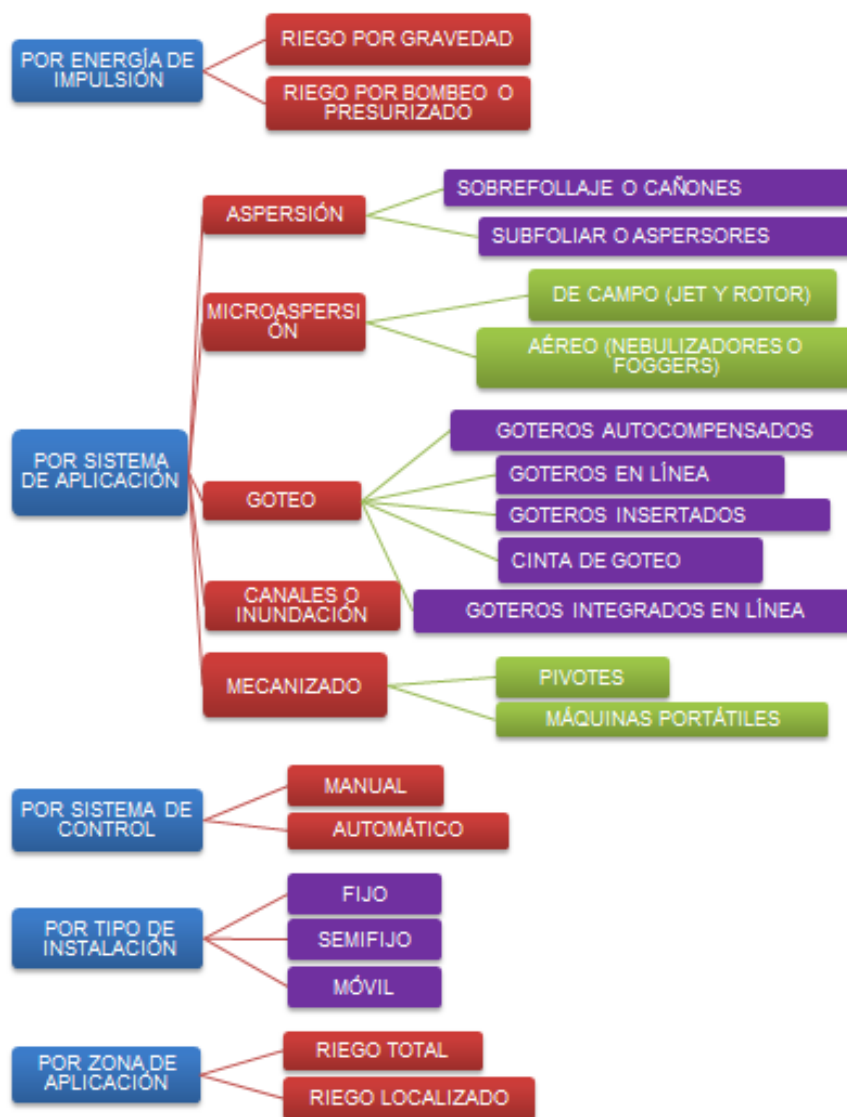
- d) El viento puede afectar. En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.
- e) En algunos casos puede aumentarlas enfermedades y la propagación de hongos debido al mojado total de las plantas.

2.3 Clasificación de los sistemas de riego

Los métodos de riego establecen técnicas para infiltrar el agua al perfil del suelo donde se desarrollan las raíces, hasta un contenido de humedad adecuado para el cultivo. La finalidad es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, en zonas con déficit.

Básicamente podemos clasificarlos bajo 5 aspectos principales, así:

Figura 3. Clasificación de los sistemas de riego



Fuente: www.rregar.com

2.4 Sistema de riego tecnificado con manguera rígida

Permite aportar el agua de manera localizada justo al pie de cada planta. Dicha función es realizada por los goteros o emisores.

Figura 4. Sistemas de riego con manguera rígida

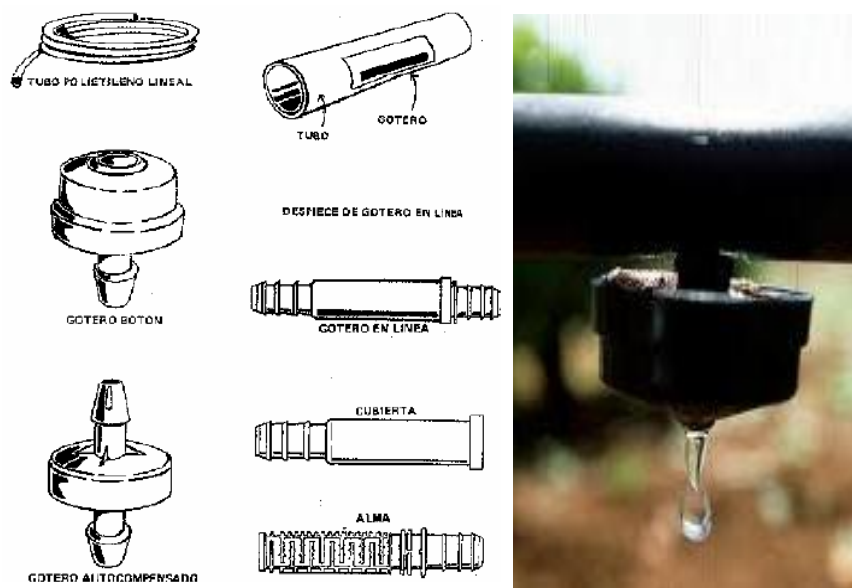


Fuente: www.hydroenv.com.mx

Los emisores encargados de irrigar el cultivo pueden ser:

- Integrados en la propia tubería (auto compensados).
- De botón, que se pinchan en la tubería (regulables).

Figura 5. Emisores de riego integrados y de botón



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.5 Sistema de riego tecnificado por cinta de goteo

Es un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos, en condiciones de utilización más favorables para la planta. Mantiene el agua en la zona radicular, aplicándola gota a gota. Por medio de cañerías el agua se lleva a la planta, que se distribuye por goteros o emisores.

Figura 6. Sistema de riego con cinta de goteo



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.5.1 Características del riego por goteo

- Mejora tecnológica que contribuye a una mayor eficiencia.
- El agua se mueve en dirección vertical y horizontal, formando el bulbo de humedad.
- Se tiene un nivel óptimo de humedad, con baja tensión de retención por el suelo y con la humedad siempre cercana a la capacidad de campo.

2.5.2 Ventajas

- Ahorro de agua.
- Posibilidad de regar todo tipo de terrenos.
- No altera la estructura del terreno.

2.5.3 Inconvenientes

- Alto costo de instalación.
- No protege contra heladas.

- Debe estar bien proyectado ya que una deficiencia puede tener graves consecuencias.
- Obstrucción de goteros.
- Mayor calificación a los usuarios.

Las cintas de goteo son tuberías de material poroso que distribuyen el agua de forma continua a través de los poros, lo que da lugar a la formación de una franja continua de humedad, que las hace muy indicadas para el riego de cultivos en línea. Humedecen una gran superficie y es especialmente empleado en suelo arenoso, también puede utilizarse en el riego de árboles.

Las presiones de trabajo son menores que las de los goteros; esto hace necesario el empleo de reguladores de presión especiales o microlimitadores.

2.6 Sistema de riego tecnificado por surcos [1]

En el riego por surcos el agua se mueve por gravitación, es decir el agua se desliza siguiendo la pendiente y no requiere de energía extra para darle movimiento. La calidad del riego depende en un principio de la sistematización del terreno y por eso es muy importante realizar un buen relevamiento planialtimétrico del lote a regar y un correcto diseño de los surcos especialmente en orientación y en longitud.

Un sistema de riego por surcos está compuesto básicamente por: una cañería de conducción (manga de polietileno, caño de PVC o de aluminio) que se ubica en la cabecera de los surcos. y boquillas, válvulas o ventanas para verter el agua en los surcos.

Figura 7. Surcos de riego



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.6.1 *Características del riego por surcos*

- La profundidad radicular se moja mediante la infiltración del agua a través del perímetro del surco.
- El agua cubre parcialmente el terreno entre surco y surco.
- El perfil se humedece en profundidad y lateralmente.
- La forma y dimensiones del surco, dependen de:
- La textura del suelo.
- Tiempo de aplicación del agua.

2.6.2 *Ventajas*

- Se adapta a cultivos en línea.
- Se usa en todo tipo de suelos, con buena infiltración y baja erosión.
- Los suelos más favorables son los francos y francos-arcillosos.
- Los costos de instalación y operación son bajos.

2.6.3 *Inconvenientes*

- No es conveniente regar en terrenos salinos o con agua con sales.
- Los terrenos arenosos no son aptos por las pérdidas por infiltración.
- Los suelos muy arcillosos tampoco favorecen el método por las pérdidas por escorrentía.

2.6.4 *Formas y dimensiones de los surcos*

- Pueden ser triangulares o rectangulares.
- El tamaño depende del cultivo y de las labores culturales.

2.7 Sistema de riego tecnificado por melgas [2]

2.7.1 *Características del riego por melgas*

- Son fajas de terrenos donde el agua avanza por inundación y se infiltra hasta la profundidad radicular.

- El caudal es función del ancho de la faja, lo que requiere caudales grandes.

2.7.2 Ventajas

- Se emplea en cultivos con gran densidad de siembra, como cereales y forrajeras.
- Se adapta para todo tipo de suelos, con buena infiltración y baja erosión.

2.7.3 Inconvenientes

- Las pérdidas de agua son elevadas.
- Requiere buena nivelación del terreno.

Figura 8. Melgas de riego



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.8 Sistema de riego tecnificado por aspersión [2]

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

El objetivo del riego por aspersión es proporcionar el agua que requieren los cultivos mediante una precipitación artificial de intensidad controlada que permita, en general, un proceso de infiltración en condiciones de subsaturación. Estas características

facilitan el proceso de distribución de agua y evitan la escorrentía y por tanto la alteración superficial del suelo.

El agua recorre un sistema de tuberías hasta llegar al emisor, que la lanza a la atmósfera. En el tramo de tubería, la corriente de agua solamente está condicionada por consideraciones hidrodinámicas, pero durante el recorrido por la atmósfera se pierde bastante el control sobre la misma. Los efectos climáticos son de importancia crucial para el proyecto y manejo de este sistema de riego.

Las ventajas del riego por aspersión se derivan fundamentalmente de dos aspectos fundamentales:

- El control del riego sólo, el cual está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del reparto).
- La uniformidad de aplicación, la cual es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

Figura 9. Sistema de riego con aspersores



Fuente: www.civiagro.com

El riego por aspersión muestra ventajas considerables en relación al riego gravitacional en las siguientes condiciones:

- Terreno de topografía irregular.
- Suelos delgados.
- Suelos con alta velocidad de infiltración.
- Suelos susceptibles a la erosión.
- Cuando se dispone de poco caudal.

2.8.1 *Ventajas:*

- Puesto que la dosis de riego es sólo función del tiempo de cada riego, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- Al poder modificarse fácilmente la pluviometría, es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas, lo que permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro. En el primer caso siempre que se dimensione para el cultivo más exigente. Dada la eventualidad de los riegos de socorro los sistemas que mejor se adaptan los son móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de acción como los cañones de riego).
- Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante en nacencia por la posibilidad de ahorrar agua, de ahí que se recomiende la aspersión cuando la dosis de riego sea inferior a 40 mm. Para riegos ligeros, los sistemas semifijos requieren mucha más mano de obra.
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra a costa normalmente de una mayor inversión.
- En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como la lucha antihelada.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil a la vez que es más cómodo y de más fácil manejo que el riego por superficie.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y por tanto más en contacto con la solución del suelo. Como contrapartida está que la energía empleada en la aplicación encarece la operación.
- Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión, pero no pueden adaptarse al riego en bloques que consiguen mayor uniformidad y eficiencia de riego, ni a los riegos de alta frecuencia.

- En lugares donde se necesite y con sistemas móviles, se adapta a regar un año en un sitio y otro año en otro.
- Necesita mucha menos cantidad de agua que los riegos por pié debido a su mayor eficiencia. Además aunque requiere más técnica al montarlo, el manejo puede hacerlo cualquiera.

2.8.2 Desventajas:

- El posible efecto de la aspersión sobre plagas y enfermedades.
- Las limitaciones vienen sobre todo en fuertes vientos, pendientes excesivas y riego bajo o sobre árboles.
- Interferencias sobre los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias.
- Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o las impurezas de la misma.
- Mala uniformidad en el reparto por la acción de los vientos.
- Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costos de mantenimiento y funcionamiento (energía). También hay que hacer reparaciones todos los años.

2.9 Parámetros de diseño para un sistema tecnificado de riego por aspersión

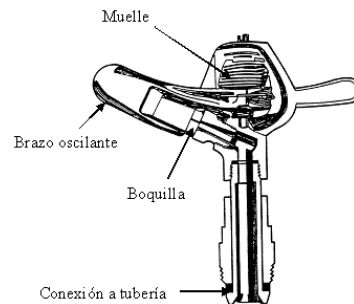
2.9.1 Aspersores. El método de riego por aspersión implica una lluvia más o menos intensa o uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae.

Los aspersores son los elementos de la instalación de riego por aspersión encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo.

Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central por las que sale el agua a presión. El movimiento del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor.

La distribución del agua sobre la superficie regada por un aspersor no es uniforme, por lo que para conseguir la mayor uniformidad posible han de disponerse los aspersores lo suficientemente próximos entre sí de tal forma que se produzca un solape entre ellos.

Figura 10. Componentes principales de un aspersor de impacto



Fuente: www.interssa.com

En general, los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse atendiendo a distintos aspectos enunciados a continuación:

2.9.1.1 Por su mecanismo de giro. Todos los aspersores giratorios funcionan bajo el mismo principio de movimiento, el cual se basa en el impacto del chorro del agua sobre un accesorio instalado en un mecanismo. Así tenemos:

- *Aspersores de martillo o de choque:* Son aquellos donde el mecanismo de acción del giro es un martillo sujeto a un eje sobre el cuerpo del aspersor, accionado por una muelle (resorte trabajando a torsión); este martillo produce un golpe intermitente sobre el aspersor produciendo giros pausados.

Figura 11. Aspersores de martillo

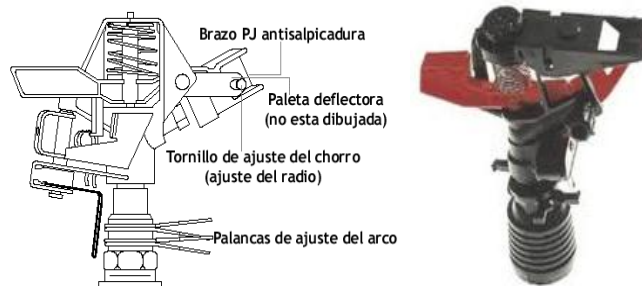


Fuente: www.hellopro.es

- *Aspersores de balancín:* Son aquellos donde el mecanismo de acción del giro es a través de un balancín accionado por su propio peso, el cual se interpone

intermitentemente al chorro de agua ocasionando un giro pausado del aspersor.

Figura 12. Aspersores de balancín



Fuente: www.hellopro.es

- *Aspersores de reacción:* La inclinación del orificio de salida origina un par, que mueve el conjunto.

Figura 13. Aspersores de reacción



Fuente: www.hellopro.es

- *Aspersores de turbina:* El chorro incide sobre una turbina que origina el giro. Principalmente son empleados en jardinería.

Figura 14. Aspersores de turbina



Fuente: www.traxco.es

2.9.1.2 Por su presión. En base a la presión de funcionamiento de los aspersores tenemos:

- *Aspersores de presión baja:* Menos de $2,5 \text{ kg/cm}^2$. Suelen ser de una boquilla de un diámetro menor de 4mm de caudal, descargando menos de 1000 l/h y con giro por choque. Adecuados para marco rectangular o cuadrado, con separación entre aspersores de 12m o en triángulo con separación de menos de 15m. Suelen utilizarse en jardinería y en riego de hortalizas o en frutales con poco ángulo para arrojar el agua por debajo de la copa de los árboles. También en cobertura total para riego antihelada.

Figura 15. Aspersores de presión baja



Fuente: www.traxco.es

- *Aspersores de presión media:* Su rango está comprendido entre $2,5$ a 4 kg/cm^2 . Suelen llevar una o dos boquillas de diámetro, comprendido entre 4 y 7 mm, que arrojan caudales entre 1000 y 6000 l/h. Se usan en marcos que van de 12x12 a 24x24.

Figura 16. Aspersores de presión media



Fuente: www.copersa.com

- *Aspersores de presión alta:* Más de 4 kg/cm². Suelen usarse para aspersores de tamaño grande también llamados cañones, con una, dos o tres boquillas y caudales de 6 a 40 m³/h, pudiendo llegar a superar los 200 m³/h. El mecanismo de giro, puede ser de choque o turbina, con alcances entre 25 y 70m. Suelen dar baja uniformidad de distribución al ser fácilmente afectados por el viento. Asimismo, el gran tamaño de gota y la gran altura de caída pueden dañar al suelo desnudo o al cultivo.

Figura 17. Aspersores de presión alta



Fuente: www.ingenieria-en-riego.com

2.9.1.3 Por su número de boquillas. Esta clasificación se fundamenta en el objetivo de lograr el manejo de diferentes láminas precipitadas, gastos y patrones de distribución del agua sobre el terreno.

- *Aspersores de una boquilla:* aquellos que constan de una sola boquilla.

Figura 18. Aspersor de una boquilla



Fuente: www.ingenieria-en-riego.com

- *Aspersores de dos o más boquillas:* en estos casos, las características hidráulicas de operación del aspersor son referidas a la boquilla de mayor diámetro equivalente, que es la que acciona el mecanismo de giro.

Figura 19. Aspersores de dos boquillas



Fuente: www.hellopro.es

2.9.1.4 *Por el ángulo de salida del chorro.* De acuerdo al ángulo generado por el diseño del aspersor, pueden ser:

- *Aspersores de ángulo bajo:* corresponde a ángulos menores o iguales a 15 grados.

Figura 20. Aspersores de ángulo bajo



Fuente: www.traxco.es

- *Aspersores de ángulo normal:* correspondiente a ángulos entre 15 y 30 grados.

Figura 21. Aspersor de ángulo medio



Fuente: www.copersa.com

- *Aspersores de ángulo alto*: corresponden a ángulos mayores a 30 grados.

Figura 22. Aspersores de ángulo alto



Fuente: www.ingenieria-en-riego.com

2.9.1.5 Según el área mojada. Algunos aspersores son empleados para mojar áreas específicas; así tenemos los siguientes tipos:

- *Aspersores circulares*: Mojan un área de terreno en forma circular, puede estar situado en una zona de pendiente o en una zona llana, se empalman fácilmente con las mangueras de riego y son totalmente compatibles con los diferentes sistemas de conexión [1].

Figura 23. Aspersor circular



Fuente: www.ingenieria-en-riego.com

- *Aspersores sectoriales*: tienen la opción de girar sólo en un sector circular en lugar de realizar un giro completo. Indicados para los bordes de las parcelas donde es preciso regar esquinas y laterales. El uso más común de este aspersor agrícola es como sectorización del riego junto a caminos, para sistemas de cobertura total enterrada o superficial en el riego del maíz, trigo, cebada o alfalfa, remolacha, hortalizas de hoja robusta, legumbres y tubérculos.

Figura 24. Aspersores sectoriales



Fuente: www.copersa.com

2.9.1.6 Según la velocidad de giro. Se emplean de acuerdo a las necesidades de irrigación.

- *Aspersores de giro rápido:* de 6 vueltas/min. De uso en jardinería, viveros, etc.

Figura 25. Aspersor de giro rápido



Fuente: www.copersa.com

- *Aspersores de giro lento:* de 1/4 a 3 vueltas/min: de uso general en agricultura. Para una misma presión los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.

Figura 26. Aspersor de giro lento



Fuente: www.copersa.com

2.9.1.7 Por el tamaño de la zona a regar (alcance)

- *Aspersores de gama residencial:* para jardines de viviendas unifamiliares, comunidades de propietarios, zonas de tamaño pequeño/mediano.

Alcance: De 7 a 12 m.

Presión de trabajo: Entre 2,5 y 4 bares.

Caudal: De 750 a 1500 l/h.

- *Aspersores de gama comercial industrial:* para comunidades de viviendas, complejos residenciales, parques públicos, complejos deportivos, fábricas, hoteles, zonas de tamaño mediano/grande.

Alcance: De 12 a 18 m.

Presión de trabajo: Entre 3 y 5 bares.

Caudales: De 1.500 a 3.500 l/h

Filtro: Incorporado

Válvula antidrenaje: Incorporada

- *Aspersores de gama de gran alcance:* para grandes parques públicos, campos de fútbol, rugby, hipódromos, campos de golf, grandes zonas verdes.

Figura 27. Aspersor de gran alcance para cultivos de maíz



Fuente: www.hellopro.es

Alcance: De 18 a 30 m.

Presión de trabajo: Entre 4,5 y 7 bares

Caudales: De 3.500 a 10.000 l/h.

2.9.1.8 Características básicas de los aspersores. Para lograr la tecnificación de un sistema de riego necesitamos conocer las características básicas de los aspersores en general. Así tenemos:

- *Alcance:* caracterizado por la expresión:

Para aspersores giratorios:

$$R = 1,35 \cdot \sqrt{D \cdot H} \quad (1)$$

Para aspersores fijos:

$$R = 1,35 \cdot D^{0,6} \cdot H^{0,4} \quad (2)$$

Dónde:

R = Alcance o radio (m)

D = Diámetro de la boquilla de aspersor (mm)

H = Presión de funcionamiento del aspersor (m)

- *Caudal:* se puede determinar mediante el desarrollo de la descarga a través de un orificio.

$$Q = C \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{2gH} \quad (3)$$

Dónde:

c = coeficiente de descarga cuyo valor se ubica entre 0,95 y 0,99

D = Diámetro de la boquilla de aspersor (mm)

H = Presión de funcionamiento del aspersor (m)

g = gravedad

- *Pulverización del chorro:* caracterizada por diferentes índices de eficacia, como son:

Índice de Oheler:

$$I_0 = \frac{R}{H} \quad (4)$$

Dónde:

H = Presión de funcionamiento del aspersor (m)

R = Alcance o radio (m)

$I_0 = 0,7$ Buena pulverización

$0,7 > I_0 > 1$ Regular pulverización

$I_0 > 1$ Mala pulverización

Índice de Tanda:

$$I_T = \frac{P}{(10 \cdot Q)^{0,4}} \quad (5)$$

Dónde:

P = presión de trabajo de aspersor (kg/cm^2)

Q = Caudal de aspersor (l/s)

$I_T = 2$ Aceptable pulverización

$I_T = 4$ Buena pulverización

$I_T = 6$ Excesiva pulverización

Índice de Degan:

$$I_d = \frac{P}{D} \quad (6)$$

Dónde:

P = presión de trabajo de aspersor (kg/cm^2)

D = Diámetro del orificio del aspersor (mm)

Si $D < 8$ mm sigue el mismo patrón del índice de Tanda

Si $D > 8$ mm se recomienda un valor comprendido entre 1,5 y 3,5.

Índice de gota: Sirve para estimar la pérdida de agua por evaporación directa y caracteriza el diámetro de la gota. Este parámetro siempre debe estar comprendido entre los límites de 7 y 17, siendo su expresión:

$$I_g = 0,032 \cdot \frac{P^{1,3}}{D} \quad (7)$$

Dónde:

P = presión de trabajo de aspersor (KPa)

D = Diámetro del orificio del aspersor (mm)

2.10 Distribución del agua sobre el suelo

El proceso de aplicación del agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se dispersa en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores.

Como efectos derivados de ésta aplicación están:

- a) La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración del agua del suelo, produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda. Este parámetro es sólo función del caudal descargado por el aspersor y del área correspondiente al marco de riego. Y se define como:

$$P = \frac{q}{s} \quad (8)$$

Representa la pluviometría "P" en (mm/h) que se obtendría si se distribuye uniformemente el caudal "q" en (l/h) emitido por el aspersor en la superficie "S" en (m²) en que teóricamente riega, de acuerdo con el marco elegido.

Es el parámetro que más frecuentemente se utiliza para definir la intensidad de lluvia. La pluviometría debe ser inferior a la velocidad de infiltración establecida, con el fin de evitar encharcamientos o escorrentías.

La pluviometría máxima admisible varía en función de la textura del suelo, de la pendiente del terreno y de la cobertura vegetal.

- b) El posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas si estas son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, formación costra, erosión, etc.
- c) La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección.

- d) La redistribución del agua dentro del suelo mejora la uniformidad de caída del agua por acción de las diferencias de potencial hidráulico.

Tabla 2. Pluviometría máxima (mm/h) admisible en función de la textura del suelo

Clase de Suelo	Pendiente 0-5%		Pendiente 5-8%		Pendiente 8-12%		Pendiente > 15%	
	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo
Arena gruesa de textura uniforme	50	50	50	38	38	25	25	12
Arena gruesa sobre subsuelo de textura compacto	44	38	31	25	25	19	19	10
Arenoso franco de textura uniforme	44	25	32	20	25	15	19	10
Arenoso franco de textura compacto	32	19	25	13	19	10	13	7,5
Limoso franco de textura uniforme	25	13	20	10	15	7,5	10	5,1
Limoso franco de textura compacto	15	7,5	13	6,4	10	3,8	7,5	2,5
Arcilloso fuerte o arcilloso compacto	5	3,8	3,8	2,5	3	2	2,5	1,5

Fuente: ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos

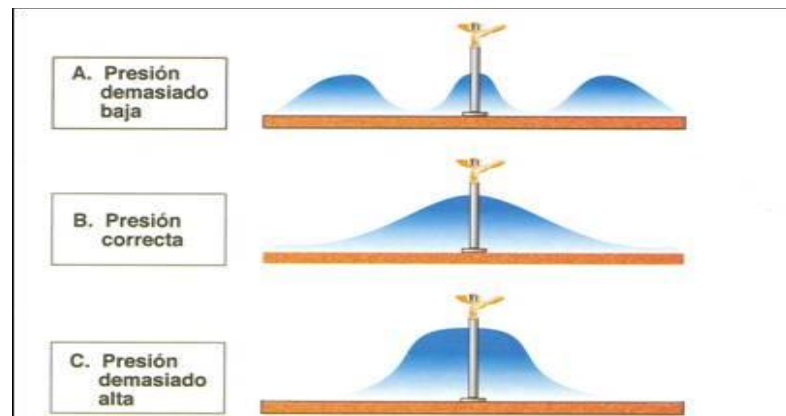
La aplicación uniforme del agua depende principalmente del modelo de reparto de agua del aspersor y de la disposición de los aspersores en el campo (marco). A estos factores hay que añadir el viento, que es el principal distorsionador de la uniformidad de reparto. A todo esto, pueden añadirse otros factores de menor trascendencia como la altura del aspersor sobre el terreno, la introducción de vaina prolongadora de chorro en la boquilla, o la duración del riego, cuyo incremento favorece la uniformidad de distribución que pudo ser alterada por momento de viento.

Para lograr una mayor uniformidad de aplicación de la lluvia provocada por los aspersores es necesario que exista un solape de las superficies regadas por los

aspersores cercanos entre sí. Por esta razón, la elección del marco de riego es fundamental.

Los marcos de riego más habituales son: marco cuadrado o real, marco rectangular, marco triangular o al tresbolillo.

Figura 28. Efectos de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada

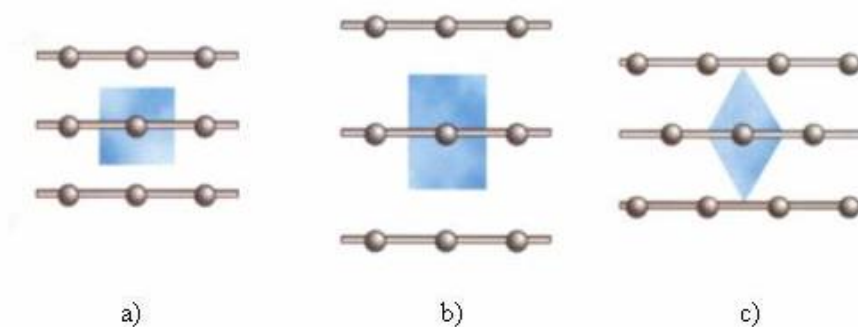


Fuente: ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos

Los marcos normalmente adoptados como separación entre aspersores dentro de la tubería y entre tuberías suelen ser: 12x12, 12x15, 15x15, 12x18, 18x18 m, en rectángulo y 18x15 ó 21x18 m en triángulos, medidos todos ellos en metros. En general son todos ellos múltiplos de 6 o 9m. Para tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas.

Se definen pues por dos cifras: la separación entre ramales y la separación de aspersores dentro del ramal.

Figura 29. a) Marco cuadrado o real; b) Marco rectangular; c) Marco triangular o al tresbolillo



Fuente: ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos

Según Heerman y Kohi (1980) recomiendan los siguientes valores de separación entre aspersores y los ramales de aspersión para cada tipo de marco de riego, siempre que se trate de vientos menores a 2 m/s:

- En disposición o marco en cuadrado y triangular (tresbolillo), la separación entre los aspersores y ramales de aspersión debe ser el 60 % del diámetro mojado.
- En disposiciones o marcos rectangulares la separación entre ramales debe ser el 75% del diámetro mojado y el 40% del diámetro entre aspersores de un ramal.

Este espaciamiento debe reducirse al aumentar la velocidad del viento según la siguiente orientación:

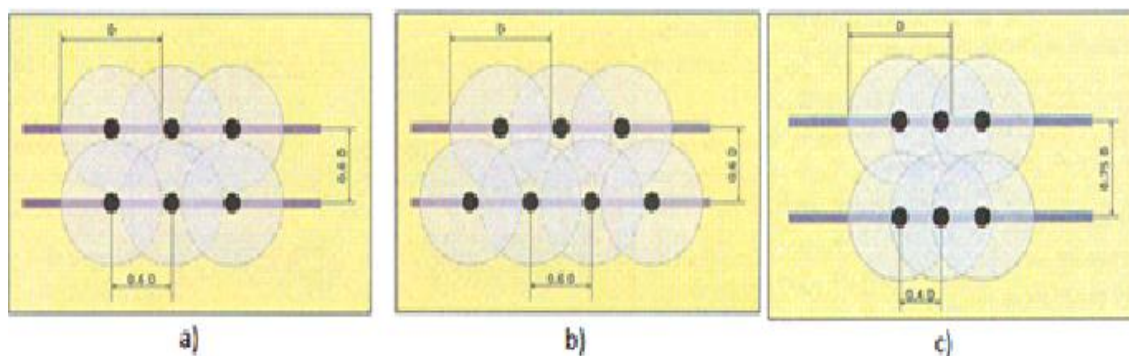
Tabla 3. Porcentaje de reducción del espaciamiento en función del viento.

% de Reducción	Velocidad viento (m/s)
10–12	4–6
18–20	8–9
10–11	25–30

Fuente: ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos

En los datos anteriores, se entiende por diámetro efectivo el 95% del diámetro mojado para aspersores con dos boquillas, y el 90% de éste para aspersores con una boquilla.

Figura 30. Valores de separación entre aspersores y los ramales de aspersión para cada tipo de marco de riego



Fuente: www.ingenieriarural.com

2.11 Tuberías [3]

Las tuberías trabajando “a presión” permiten conducir el agua, aún a contrapendiente. Para eso requieren de cierta cantidad de energía por unidad de peso, proporcionada por una unidad de bombeo.

Ventajas:

- Conducen el agua directamente a los puntos de aplicación
- No existen pérdidas de agua
- No dificultan las operaciones de las máquinas ni el tránsito
- Requieren menos mantenimiento y conservación que los canales en tierra y las regueras

Los materiales más comunes para los sistemas de riego tecnificado son las de PVC y PE (polietileno) teniendo características de mayor de mayor resistencia mecánica las de PVC con relación a las de PE.

Otra tubería muy usada es la de aluminio, debido a su poco peso y su fácil sistema de acople tiene gran aceptación en los sistemas de riego por aspersión móvil.

2.11.1 Tuberías PVC. Existen grandes diferencias entre las propiedades físicas y químicas de los plásticos más comunes, lo cual origina que existan diferentes tipos y grados. El PVC da lugar a cuatro tipos que llegan a tener diferentes grados y existen tres tipos principales de tuberías de PVC son calibre 40, 80 y 120, se utilizan para el encaminamiento del agua a través de hogares y sistemas de riego.

Figura 31. Tuberías PVC



Fuente: www.pointp.es

Como se ha mencionado el uso más común de las tuberías de PVC es en la conducción de agua, en la succión e impulsión, dentro de la impulsión las tuberías se divide en línea principal, secundaria y ramales.

Generalmente la línea principal y las líneas secundarias son de PVC, siendo la primera de mayor diámetro.

2.11.2 Tuberías PE. El etileno se deriva en polietileno, provocando su polimerización sometándolo a un proceso de calor y presión. Las tuberías de PE se logran mediante extracción; éstas presentan dos ventajas con respecto a las de PVC:

- Se pueden instalar al aire libre (ya que las de PVC si se exponen por largos períodos a los rayos solares pueden ver mermadas sus propiedades mecánicas).
- Es flexible y menos frágil.

Así mismo éstas presentan diferentes tipos de tubos de polietileno, comercialmente se fabrican tres tipos, de baja, media y alta densidad.

De los tres el de mayor uso en los sistemas de riego tecnificado es el de baja densidad usado en los ramales por su flexibilidad.

Figura 32. Tubería PE



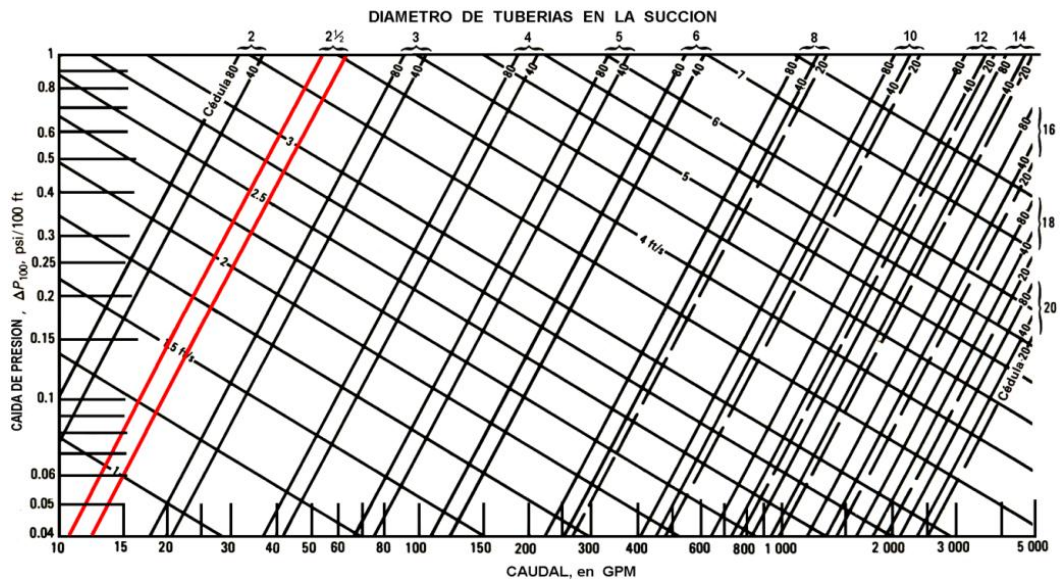
Fuente: www.pointp.es

2.11.3 Selección del diámetro de la tubería. La selección de los diámetros de la tubería suele realizarse en función del caudal de aguas del sistema, para lo cual se emplean las siguientes cartas:

El diámetro de la tubería a emplearse en el sistema se obtiene en función del caudal y bajo los siguientes parámetros:

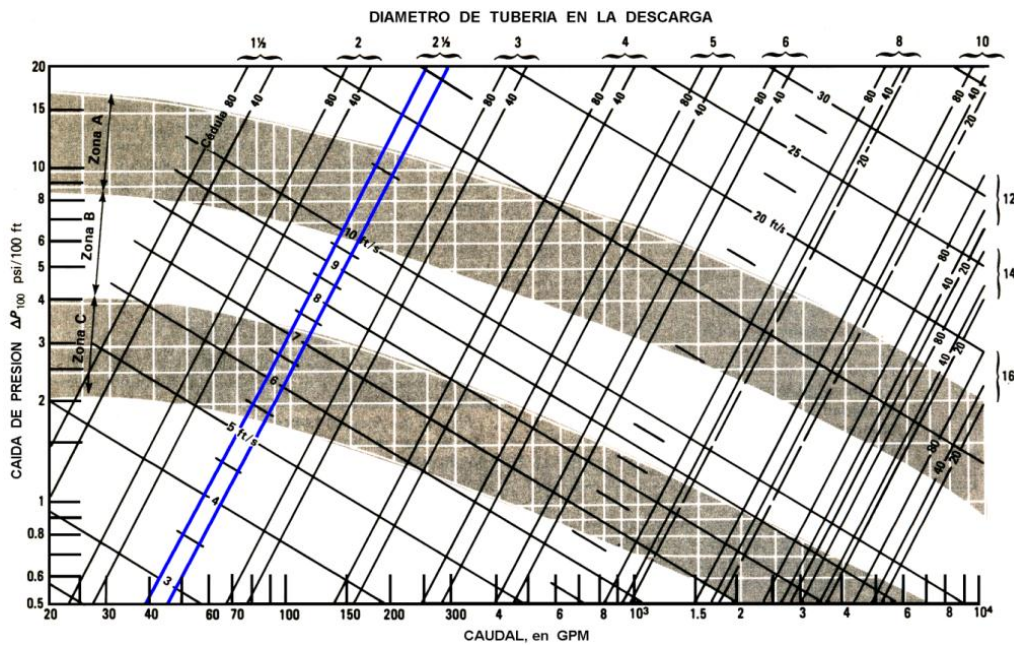
- Para mínimas pérdidas; mayor diámetro de tubería.
- Para mínimos costos; menor diámetro de tubería.

Figura 33. Carta para la selección de diámetros en la succión



Fuente: fluidos.eia.edu.co

Figura 34. Carta para la selección de diámetros en la descarga



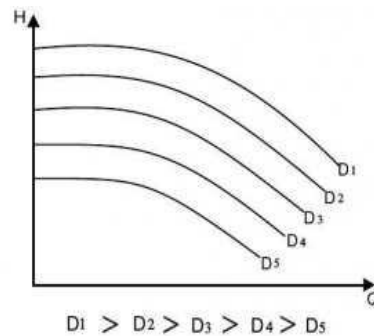
Fuente: fluidos.eia.edu.co

2.12 Bomba centrífuga [3]

Las bombas centrífugas son las más utilizadas en los sistemas de riego, existen infinidad de modelos, los que dependen de la cantidad de agua a bombear por unidad de tiempo, la presión necesaria para hacer funcionar el sistema de riego o altura a elevar el agua y las características físicas del terreno donde se instalará el equipo.

Todas las bombas poseen una curva de funcionamiento llamado curva característica de la bomba, las que construyen en base a dos variables la altura de impulsión (H) y caudal (Q), para cada valor de la altura corresponde un valor de la altura corresponde un valor de caudal y viceversa.

Figura 35. Familia de curvas Q-H



Fuente: areamecanica.wordpress.com

A medida que el caudal aumenta la altura decrece, dentro de un mismo modelo de la bomba existen varias curvas características, correspondiendo a la variación del tamaño de la bomba.

Si se quiere un caudal determinado para cierta altura se empieza por analizar la primera curva correspondiente al tamaño más pequeño de la bomba, si el caudal o la altura se escapan de la curva se tiene que pasar a la siguiente curva, la que corresponde al tamaño inmediatamente superior.

Figura 36. Bomba Centrífuga



Fuente: www.equipos.hn

Dentro del campo normal de aplicación, las propiedades de una bomba centrífuga son:

- Caudal uniforme, sin pulsaciones.

- La presión o altura de elevación disminuye a medida que aumenta el caudal. En general, a partir del punto de funcionamiento, cuando se cierra la válvula de regulación de la tubería de impulsión aumenta la presión y se reduce la potencia. Sin embargo, las bombas de alta velocidad específica (impulsor semi-axial o hélice) no cumplen ésta norma general.
- La altura, medida en metros de columna de líquido, a la que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido y, por tanto, la altura a la que impele una bomba es la misma, prescindiendo de la influencia que ejerce la viscosidad.
- La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.
- El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de régimen es continua y libre de sobrecargas, cuando la altura no varía y no hay perturbaciones ajenas a la bomba en la aspiración.

2.13 Accesorios (Fittings)

Se entienden por fittings a los accesorios usados para unir tuberías en virtud de la geometría de instalación.

Estos se fabrican de diversos materiales (PVC, PE, bronce, aluminio, acero, fundición, hormigón, etc.) teniendo gran cantidad de formas y dimensiones. Para mayor información basta recurrir a un catálogo especializado donde se encuentran sus características físicas (diámetros, longitudes, pesos, etc.).

Figura 37. Accesorios varios



Fuente: www.cl.all.biz/fitting-y-accesorios

2.14 Reservorios

Son estructuras hidráulicas que se construyen para almacenar, regular y sedimentar el agua de riego. Considerando los materiales que se emplean en la construcción pueden ser:

- Reservorios de tierra, revestidos internamente.
- Reservorios con muros de concreto ciclópeo o de piedra.
- Reservorios con muros de concreto armado.
- Reservorios con muros de contrafuertes.

Figura 38. Reservorios de concreto y de geomembranas



Fuente: www.imgeocosta.com

2.15 Válvulas [3]

En todo sistema de riego es necesario instalar distintos tipos de válvulas y aparatos de control para garantizar su funcionamiento adecuado, en este apartado nos proponemos describir el funcionamiento, ubicación y mantenimiento para garantizar que cumplan con eficiencia su trabajo.

2.15.1 Válvulas check. Las válvulas de check, también llamadas de retención o antirretorno, tienen el fin de evitar la descarga del agua en dirección a la bomba, esto evita daños por la rotación inversa de la bomba, además de impedir el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha del sistema sea más rápida y segura además protegen a la bomba durante las sobre presiones. Estas válvulas actúan automáticamente por la acción de las presiones en los dos sentidos posibilitando el cierre y apertura.

No requieren mantenimiento, solamente de chequeos ocasionales si se traba. Se ubican inmediatamente después de la bomba o del cono de ampliación excéntrico.

Existen de diferentes tipos; entre las principales tenemos:

- *Válvula check tipo columpio:* Las válvulas de Retención con Columpio están diseñadas para instalaciones horizontales, pero pueden ser instaladas en posición vertical solamente con un flujo ascendente.

Las válvulas de retención deben ser instaladas con la flecha apuntando en la dirección del flujo.

Figura 39. Válvula check tipo columpio



Fuente: valvulas.elregante.com

Las válvulas check tipo columpio ofrecen la menor caída de presión, cuando se detiene el flujo de líquido, la gravedad y la inversión de flujo cierran la válvula. Debido a que el cierre de estas válvulas es debido a la presión del fluido del disco al adaptarse al asiento, estas válvulas tienden a tener fugas a bajas presiones, razón por la cual los discos cuentan con elastómeros sobre su superficie.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 4. Factor de pérdidas de la check tipo columpio

D	12	19	25	32	40	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
K	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,75	0,70	0,65	0,60

Fuente: valvulas.elregante.com

- *Válvula check de disco basculante oblicuo:* Es una válvula de retención muy versátil, su rapidez de cierre convierte la protección de bombas como una de sus principales aplicaciones.

Figura 40. Válvula check de disco basculante oblicuo



Fuente: valvulas.elregante.com

No es recomendable con sólidos en suspensión. La selección de la válvula en sistemas a poca presión, hay que tener en cuenta la presión mínima que recomienda el fabricante para abrir o mantener la válvula abierta y evitar fluctuaciones del disco que resultan en un desgaste del eje basculante y del asiento. Este efecto es menor que en las válvulas de retención basculante.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 5. Factor de pérdidas de la check de disco basculante oblicuo

Apertura	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
5°	0,76	0,72	0,68	0,60	0,56	0,39	0,24
10°	2,3	2,2	2,0	1,8	1,7	1,2	0,72

Fuente: valvulas.elregante.com

- *Válvula check oscilante o de clapeta:* Estas válvulas, son ligeras y compactas, elimina la necesidad de costosos soportes en tuberías, requiere poco espacio en la instalación, son fáciles de instalación mediante el empleo de bridas adecuada. Pueden instalarse en posición horizontal o vertical, teniendo en cuenta la orientación de apertura deben montarse a un distancia superior a 5 diámetro de la tubería de salida de la bomba, requieren de cierta presión mínima para su operación en dependencia de su diámetro y materiales de fabricación.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 6. Factor de pérdidas de la check oscilante

D	50	63	75	100	150	200	250	300	400	450-600
K	2,40	2,30	2,20	2,00	1,85	1,65	1,55	1,40	1,30	1,20

Fuente: valvulas.elregante.com

Entre otras válvulas de retención empleadas de acuerdo al tipo de necesidad tenemos:

- Válvulas de retención de obturador ascendente.
- Válvula de retención de bola.
- Válvulas de retención y cierre.
- Válvulas de retención silenciosas.
- Válvulas de retención de bisagra o dúo check.
- Válvulas de retención tipo angular.

2.15.2 Válvulas de pie. Es un tipo de válvula check, instalada en el extremo de la línea de succión de la de las bombas. Tienen la función de mantener la línea de succión cebada cuando la bomba está sobre el nivel del agua para permitir que la bomba funcione correctamente. La entrada de la válvula suele estar protegida con un filtro para impedir la entrada de elementos extraños que puedan existir en agua aspirada.

En la elección de éstas válvulas es necesario tener en cuenta básicamente dos características: que no presenten una excesiva pérdida de carga cuando están abiertas, y que no provoquen transitorios muy fuertes al cerrarse.

La magnitud del transitorio depende de la velocidad del flujo inverso cuando se cierra la válvula. En sistemas que se inviertan lentamente, cualquier tipo de válvula puede servir; pero cuando hay un depósito con aire cerca de la bomba, o varias bombas trabajan en paralelo.

Es conveniente escoger válvulas que cierren rápidamente. Si no está bien elegida, el golpe de ariete que provoca ella misma puede llegar a dañarla. Por el contrario no es conveniente sobre diseñar estas válvulas porque puede provocar oscilaciones en el elemento de cierre.

Existen en el mercado tres tipos fundamentales de válvulas de pie según el dispositivo de cierre. Éstas son:

- *Válvula de pie de obturador:* Tienen un diseño similar al de las válvulas de globo, pero el obturador actúa por la fuerza de la presión negativa de la bomba y el de la columna de líquido cuando ésta se detiene.

Figura 41. Válvula de pie de obturador



Fuente: valvulas.elregante.com

Algunas válvulas de éste tipo tienen como complemento una válvula check que permite el paso del fluido en un solo sentido, impidiendo el retorno del mismo.

El coeficiente "K" de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 7. Factor de pérdidas de la válvula de pie de obturador

D	12	19	25	32	40	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
K	11,3	10,5	9,7	9,3	8,8	8,0	7,6	7,1	6,3	5,9	5,5	5,0

Fuente: valvulas.elregante.com

- *Válvula de pie oscilante:* De diseño muy parecido al de las válvulas check oscilantes, con el eje totalmente excéntrico, actúan de forma similar a las de obturador.

Figura 42. Válvula de pie oscilante



Fuente: valvulas.elregante.com

El coeficiente "K" de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

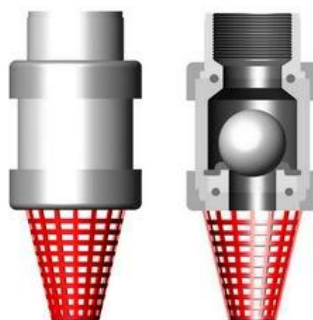
Tabla 8. Factor de pérdidas de la válvula de pie oscilante

D	12	19	25	32	40	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
K	2,0	1,9	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9

Fuente: valvulas.elregante.com

- *Válvula de pie de bola:* Este diseño de válvulas se utiliza en diámetros hasta 90 mm, presentan pérdidas parecidas a las del tipo obturador.

Figura 43. Válvula de pie de bola



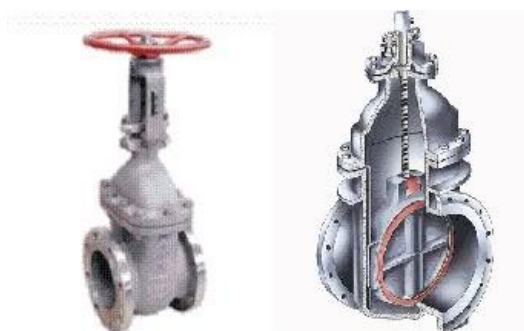
Fuente: valvulas.elregante.com

2.15.3 Válvulas de cierre. Las válvulas de cierre permiten o cierran el paso de agua en las tuberías del sistema, es la válvula más usada en los sistemas de riego, existen gran variedad de diseños en dependencia de los mecanismos de cierre que ellas poseen y se fabrican en diversos materiales de acuerdo al fin al que estén destinadas.

Entre las principales tenemos:

- *Válvulas de compuerta:* En las válvulas de compuerta el cierre se produce mediante un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento, se fabrican con distintas variantes como son: cuña maciza, cuña flexible, cuña dividida, disco doble.

Figura 44. Válvula de compuerta



Fuente: valvulas.elregante.com

El cuerpo de éstas válvulas suele ser de hierro o acero fundido y los órganos de cierre pueden ser de bronce o de acero inoxidable, también se fabrican en PVC para presiones más bajas que las metálicas. Deben permanecer durante el periodo de operación, totalmente abierto o totalmente cerrado, no se recomiendan para la regulación de caudales en la red o equipos.

Se caracterizan por su cierre hermético, bajo costo, diseño y funcionamiento sencillo y poca resistencia a la circulación, tienen poco avance en sentido longitudinal.

Entre las desventajas se encuentran: control deficiente de la circulación, se requiere mucha fuerza para accionarla, produce cavitación con baja caída de presión, debe estar abierta o cerrada por completo, la posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

Al operar éstas válvulas, no se deben cerrar nunca a la fuerza con una llave o una palanca, abrirlas con lentitud para evitar el choque hidráulico en la tubería y cerrarlas con lentitud para ayudar a descargar los sedimentos y mugre atrapados y no queden en el asiento del disco.

El mantenimiento consiste en lubricarla a intervalos periódicos, corregir de inmediato las fugas por la empaquetadura utilizando los tornillos de ajuste para tal fin y sustituir la empaquetadura en caso de desgaste.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 9. Factor de pérdidas de la válvula de compuerta

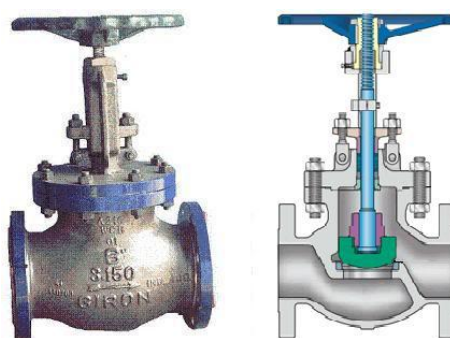
D	12	19	25	32	40	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
K	0,22	0,2	0,18	0,18	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10

Fuente: valvulas.elregante.com

- **Válvulas de globo:** Las válvulas de globo, son unidireccional, el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido, sirven para regular o limitar el flujo de agua.

Pueden ser operadas continuamente. Están construidas de tal modo que cuando el flujo pasa, produce un cambio en la dirección e incrementa su resistencia de forma gradual según la posición del cierre. Para diámetros mayores de 300 mm, estas válvulas son poco usadas, debido al gran esfuerzo que se requiere para operarlas.

Figura 45. Válvula de globo



Fuente: valvulas.elregante.com

Tienen la ventaja de presentar una estrangulación eficiente con erosión mínimos del disco o asiento, carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete, control preciso de la circulación.

En cuanto a su mantenimiento, se debe abrir ligeramente la válvula para expulsar los cuerpos extraños del asiento, apretar la tuerca de la empaquetadura, para corregir de inmediato las fugas. La mayor desventaja que presenta ésta válvula es la elevada pérdida de carga.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 10. Factor de pérdidas de la válvula de globo

D	12	19	25	32	40	50	63-75	100	150	200-250	300-400
K	9,2	8,5	7,8	7,5	7,1	6,5	6,1	5,8	5,1	4,8	4,4

Fuente: valvulas.elregante.com

- **Válvulas de bola:** Se fabrican para diámetros pequeños, hasta diámetro 110 mm, de metal y de materiales plásticos. El mecanismo de cierre de las válvulas de bola es una esfera perforada con el diámetro igual al del conducto, la apertura se produce por un giro de 90° para orientar el orificio en el sentido del conducto y el cierre girando el orificio en sentido perpendicular. La manivela indica el estado de la válvula; alineada con el conducto cuando está abierta y perpendicular cuando está cerrada.

Se utilizan mucho en riego localizado las fabricadas en materiales plásticos, ya que son resistentes a los fertilizantes y al ácido, bajo costo. Otra ventaja es que permiten el flujo en las dos direcciones.

Figura 46. Válvulas de bola



Fuente: valvulas.elregante.com

Ciertos modelos tienen la ventaja adicional de cumplir también la función de unión de cambio, por lo que son muy útiles para utilizarlas en estaciones de bombeo y cabezales de riego. Están diseñadas para permanecer totalmente abierta o totalmente cerradas durante la operación del sistema lo que no permite su uso como válvula reguladora.

No requiere mantenimiento durante su vida útil, cuando sufren desgaste algunos modelos permiten la sustitución de sus componentes y en otros es necesario su sustitución. Las desventajas principales son: alta torsión para accionarla, susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras, propensa a la cavitación. Las pérdidas de carga son las más bajas entre las válvulas de cierre.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

Tabla 11. Factor de pérdidas de la válvula de globo

D	12-19	25-32	40-50	63-150	200-600
K	0.08	0,07	0,06	0,05	0,04

Fuente: valvulas.elregante.com

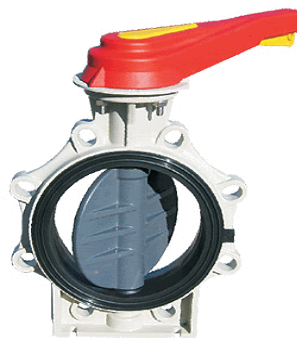
- **Válvulas de mariposa:** Su mecanismo de cierre es un disco circular que gira un ángulo de 90° para abrir y cerrar, al igual que en la válvula de bola, la manivela indica su estado. La válvula se acciona por medio de una palanca, provista normalmente de un gatillo para fijarla en los ángulos entre 0°, 90°. Para diámetros mayores, con el fin de reducir el esfuerzo de maniobra o los golpes de ariete causados por un cierre demasiado rápido, se emplea un volante con reductor.

Se fabrican en gran variedad de modelos, materiales y en diámetros mayores a 50 ms. En PVC este tipo de válvula se fabrica normalmente desde un diámetro

de 75 mm hasta 315 mm. Tienen la ventaja de poseer muy poco avance en el sentido del flujo con relación a su diámetro, lo que las hace muy útiles en lugares de poco espacio, como ocurre en las estaciones de bombeo y cabezales de riego.

Permiten manipulaciones constantes con mínimo desgaste, permiten utilizarla como reguladoras de flujo, ligera de peso, compacta, bajo costo, requiere poco mantenimiento, número mínimo de piezas móviles, no tiene bolas o cavidades, se limpia por sí sola.

Figura 47. Válvula de mariposa



Fuente: valvulas.elregante.com

Entre sus desventajas tenemos: alta torsión para accionarla, capacidad limitada para caída de presión, propensa a la cavitación. Con respecto a su mantenimiento: Si hay fugas de la circulación inversa, examinar disco y el asiento. Su mecanismo de cierre produce mayor pérdida que el modelo anterior.

El coeficiente “K” de pérdidas locales para este tipo de válvulas es:

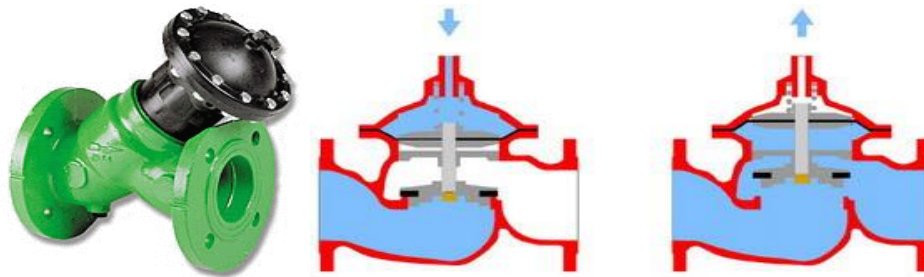
Tabla 12. Factor de pérdidas de la válvula de mariposa

D	50	63-75	100	150	200-250	300-400	500-600
K	0,86	0,81	0,77	0,68	0,63	0,35	0,30

Fuente: valvulas.elregante.com

2.15.4 Válvulas de control. El mecanismo de cierre es por medio de un pistón o diafragma que cierra la salida. La regulación se logra limitando el grado de apertura del pistón para reducir el área de paso y de ésta forma provocar las pérdidas necesarias. El cierre y apertura se produce por presión hidráulica.

Figura 48. Válvulas de control y su funcionamiento.



Fuente: valvulas.elregante.com

Para facilitar su instalación se fabrican con distintos tipos de acoplamiento, y en diámetros de 19 a 250 mm, las de menor diámetro se fabrican en plástico y las mayores en metal revestido interiormente con pintura epóxica resistente a la corrosión. Pueden clasificarse según:

Su modo de operación:

- Manual.
- Hidráulico.
- Eléctrico.

Su estado de apertura:

- Normalmente abiertas.
- Normalmente cerradas

Las acciones que realizan:

- Apertura y cierre.
- Reductor de presión.
- Sostenedoras de presión.
- Limitadora de caudal.
- Antirotura o antidrenaje.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO HIDRÁULICO, DISEÑO AGRONÓMICO, FERTIRRIGACIÓN, AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO Y SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

3.1 Diseño hidráulico

La hidrodinámica se encarga del estudio del movimiento de un fluido en el interior de un contorno (tubería, accesorios, canal, etc.).

El estudio de la hidrodinámica es:

- Interesante en la técnica: proyecto de oleoductos, redes de distribución de agua, conducto de los sistemas de refrigeración y engrase de las máquinas, flujo de agua y de vapor por una central térmica, etc.
- El problema central de la mecánica de fluidos.

3.1.1 Caudal. Es la cantidad de líquido que pasa en un cierto tiempo. Concretamente, el caudal es el volumen de líquido que circula en un determinado tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (9)$$

Dónde:

Q = Caudal

V = volumen del líquido

T = tiempo que tarda en salir el líquido

3.1.2 Número de Reynolds. El número de Reynolds es quizá uno de los números adimensionales más utilizados. La importancia radica en el régimen con que circula un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot Di}{\mu} \quad (10)$$

Dónde:

v = velocidad media del fluido

D = Diámetro del ducto

ρ = Densidad del fluido

μ , ν = viscosidad dinámica y cinemática respectivamente

3.1.3 Rugosidad relativa. Complementariamente, la consideración de R_e obliga a tomar en cuenta los obstáculos que encuentra el fluido en su camino. Llamaremos rugosidad absoluta (K) a la altura máxima de las asperezas del conductor, medida en unidades de longitud.

Tabla 13. Coeficiente de Rugosidad Absoluta, ε para tuberías

TIPO DE TUBERÍA	RUGOSIDAD ABSOLUTA “ ε ”	
	Mm	Pies
Vidrio, plástico, cobre, o latón estirado	< 0.001 (o lisa)	< 0.0000033 (o lisa)
Latón industrial	0.025	0.000082
Acero laminado nuevo	0.05	0.00016
Acero laminado oxidado	0.05 a 0.25	0.0005 a 0.00082
Acero laminado con incrustaciones	1.5 a 3	0.005 a 0.0098
Acero asfaltado	0.015	0.00005
Acero roblonado	0.03 a 0.1	0.000098 a 0.00033
Hierro galvanizado	0.15 a 0.20	0.0005 a 0.00066
Fundición corriente nueva	0.25	0.00082
Fundición corriente oxidada	1 a 1.5	0.0033 a 0.005
Fundición asfaltada	0.1	0.00033
Cemento alisado	0.3 a 0.8	0.00098 a 0.0026
Cemento bruto	Hasta 3	Hasta 0.0098
Acero roblonado	0.9 a 9	0.003 a 0.03
Duela de madera	0.183 a 0.9	0.06 .03

Fuente: fluidos.eia.edu.co/hidraulica/confinado/rugosidadabsoluta.html

Más usada es la denominada rugosidad relativa (R_r), que responde a la expresión, también en unidades de longitud.

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (11)$$

Dónde:

ε = rugosidad absoluta (tabla)

D = diámetro interno de la tubería

3.1.4 Viscosidad cinemática (Anexo H). Se refiere a la división entre la viscosidad dinámica y la densidad. En los fluidos la medida de su viscosidad absoluta necesita de una alta habilidad experimental e instrumentos adecuados para realizar su medición.

Un viscosímetro es utilizado para medir la viscosidad cinemática de aceites y otros fluidos de mayor viscosidad, el procedimiento para sacar su medida se puede considerar como simple. Para efectos de cálculos se utilizan y existen muchas tablas y cuadros para determinar las diferentes propiedades de los fluidos a diferentes temperaturas.

3.1.5 El factor “ λ ”. Llamado factor de fricción, es adimensional y en función de dos variables: el número de Reynolds y la Rugosidad relativa [6]. En la práctica se emplean varias ecuaciones que integramos en el cuadro siguiente:

Tabla 14. Coeficiente “ λ ”, para cálculo de pérdidas primarias en tuberías

TUBERÍAS	RÉGIMEN	FÓRMULA	AUTOR
Lisas	Laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Paiseulle
Lisas y rugosas	Turbulento $5 \cdot 10^{-3} \leq Re \leq 10^8$ $10^{-6} \leq Rr \leq 10^{-2}$	$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{Rr}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	Fanno
Lisas	Turbulento $Re < 100.000$	$\lambda = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$	Blasius
Lisas	Turbulento (zona de transición)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0.8$	Karman-Prandtl (1 ^{era} ecuación)
Rugosas	Turbulento (zona final)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$	Colebrook
Rugosas		$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{\varepsilon} + 1.74$	Karman-Prandtl (2 ^{da} ecuación)

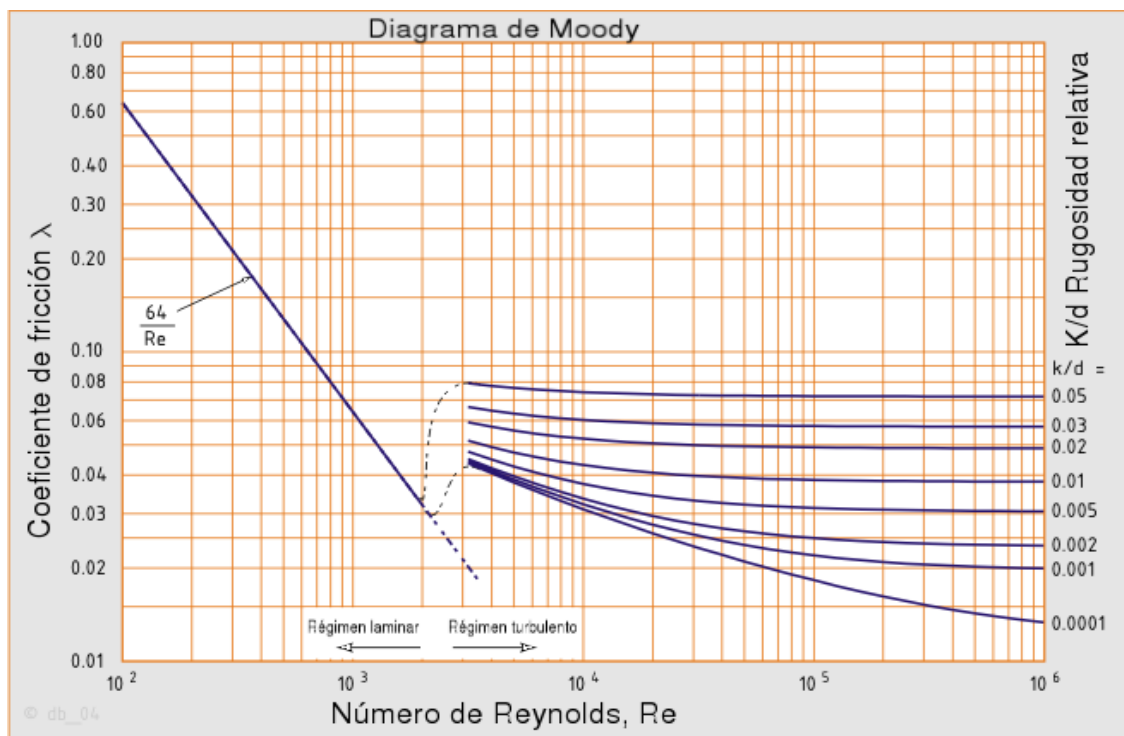
Fuente: C. Mataix, Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas

Este coeficiente " λ " también puede ser determinado por una carta llamada Diagrama de "Moody" que expresa el factor de fricción como función de la rugosidad relativa (ε/D) y del número de Reynolds (Re)

Entre algunas características importantes de ésta tabla podemos mencionar:

- Resuelve todos los problemas de pérdidas de carga primarias en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tubería y cualquier caudal
- Puede emplearse con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro D por el radio hidráulico R_h .
- Se usa para determinar el coeficiente " λ ", el cual luego se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.

Figura 49. Diagrama de "Moody"



Fuente: www.wikipedia.org

3.1.6 Pérdidas primarias y secundarias en las tuberías (Anexos I-K). Las pérdidas de carga en las tuberías se dividen en 2 clases: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas que genera la superficie en contacto con el fluido en la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras

(régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en un flujo uniforme, por lo tanto en los tramos de tubería de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (angostamientos, ensanchamientos, etc.), codos, válvulas, elementos de medición y toda clase de accesorios y elementos adicionales de las tuberías.

3.1.6.1 Ecuación general de las pérdidas primarias. A fines del siglo pasado, experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma.

La fórmula fundamental que representa lo anterior es la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Dónde:

h_f = coeficiente de pérdida de carga primaria

L = longitud de la tubería

D = diámetro interno de la tubería

V = velocidad media del fluido

3.1.6.2 Ecuación general de las pérdidas secundarias. De uso universal en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica y análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas secundarias, es la siguiente.

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (13)$$

Dónde:

h_{pa} = pérdida de carga secundaria.

k = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

v = velocidad media en la tubería, codos, válvulas, etc.

3.1.6.3 Factor k de la ecuación de pérdidas secundarias. El coeficiente k depende del tipo de accesorio. Del número de Reynolds, de la rugosidad hasta de la configuración

de la corriente antes del accesorio. En general antes y después del accesorio en que se producen la pérdida ah de haber un trozo de tubería recia al menos de 4 a 5 D (diámetro de la tubería). Los coeficientes k para los diferentes accesorios como ensanchamientos y contracciones bruscos y suaves, derivaciones tees o yes, codos, válvulas se aducen de las tablas que se indican a continuación.

3.2 Diseño agronómico

El diseño agronómico consiste primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores edafológicos y climatológicos básicamente y otros propios del cultivo. Para iniciar el diseño agronómico se debe tener conocimiento de las condiciones topográficas, edafológicas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio.

El diseño agronómico contempla de forma general:

- Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos.
- Determinación de los parámetros de riego: Laminas frecuencias y tiempos de riego.

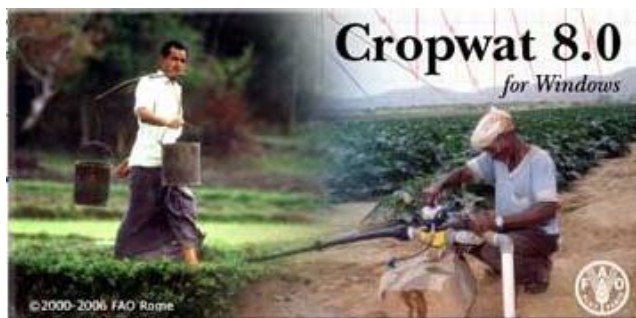
En la elaboración de proyectos de riego la determinación de la demanda de agua, es uno de los factores de mayor importancia que está relacionada con las necesidades de riego de los cultivos bajo ciertas condiciones de precipitación y tipo de suelo. Para calcular las necesidades de riego de los cultivos, es necesario determinar la evapotranspiración de referencia para cada mes (ET_o), utilizando los valores de los coeficientes de los cultivos (k_c) para las diferentes etapas de desarrollo vegetativo, se calcula la evapotranspiración real o actual del cultivo (ET_c) y se relacionan éstos valores con la lluvia para obtener los requerimientos netos de riego del cultivo. El cálculo de estos parámetros existen en la actualidad una gama de programas informáticos como es el caso del software CropWAT con el cual se obtendrá los valores pertinentes para el desarrollo agronómico del proyecto.

3.2.1 Cropwat 8.0. El sistema Cropwat fue desarrollado por la FAO. Es un programa de computación diseñado para la determinación de requerimientos de riego para diversos cultivos. Adicionalmente, con él es posible establecer tendencias cuantitativas o niveles de adaptabilidad según la disminución en el rendimiento de los cultivos

cuando se introducen diversas combinaciones o variaciones de suelo, clima y fechas de siembra.

Debe tenerse presente que en el modelo, las reducciones en rendimiento sólo están relacionadas con carencias de humedad y no con otros factores como disponibilidad de nutrimentos, ataques de plagas, inundación, etc.

Figura 50. Presentación del software Cropwat 8.0



Fuente: Cropwat 8.0

Básicamente, Cropwat es un modelo de balance hídrico. Compara la disponibilidad de agua con el requerimiento del cultivo. Se basa en los coeficientes de evapotranspiración de los cultivos (K_c) a lo largo de cuatro etapas de desarrollo. La disminución del rendimiento la calcula empíricamente, sobre la base de un coeficiente que relaciona la pérdida de rendimiento por cada unidad de evapotranspiración no satisfecha.

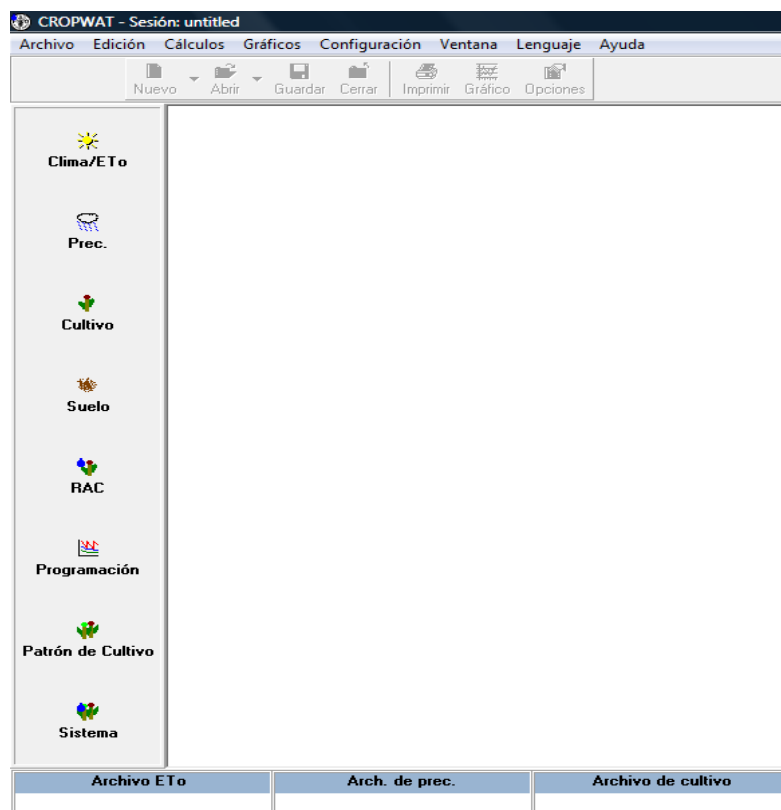
3.2.2 Introducción a Cropwat 8.0. El propósito principal de Cropwat es el de calcular los requerimientos de agua y la programación de riego de los cultivos en base a datos introducidos por el usuario. Estos datos pueden ser directamente ingresados en Cropwat o importados de otras aplicaciones.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), Cropwat requiere de datos de evapotranspiración (ETo). Cropwat permite al usuario ingresar valores de ETo , o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa Cropwat calcular la ETo aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

Tanto para la introducción de datos como para los cálculos, Cropwat ofrece una amplia variedad de opciones que se pueden configurar interactivamente por el usuario durante la ejecución del programa.

3.2.3 Interfaz de usuario con el software Cropwat 8.0. La interfaz de usuario del Cropwat es realmente sencilla. Está conformada por una barra de menú principal con las opciones generales de introducción de datos (input data), calendario/planificación (schedule), tablas (tables), gráficos (graphics) entre otras; y la barra de herramientas, conformada por iconos que representan accesos directos a las funciones ubicadas en las diferentes opciones del menú principal.

Figura 51. Pantalla principal del software Cropwat 8.0



Fuente: Cropwat 8.0

Cropwat 8.0 para Windows es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos.

3.2.4 Estructura del programa. El programa Cropwat se organiza en 8 módulos diferentes, de los cuales 5 son módulos de datos de entrada y 3 son módulos de cálculo. Estos módulos son accesibles a través del menú principal pero se pueden acceder más fácilmente a través de la Barra de módulos que está permanentemente

visible en la parte izquierda de la ventana principal. Esto permite al usuario combinar fácilmente diferentes datos climáticos, de cultivo y de suelo para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, la programación de riego y la entrega de agua en esquemas multicultivos.

Los módulos de entrada de datos de Cropwat son los siguientes:

- Clima/ETo: para ingresar datos medidos de ETo o datos climáticos que permitan el cálculo de la ETo Penman-Monteith;
- Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva;
- Cultivo (cultivos no inundados o arroz): para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra
- Suelo: para ingresar datos de suelo (sólo en caso de programación de riego)
- Patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua
- Los módulos Clima/ETo y Precipitación se usan no sólo para la introducción de datos, sino que también calculan otros datos, como radiación/ETo y precipitación efectiva respectivamente.

3.3 Fertirrigación

La fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrientes y la energía, y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente.

Figura 52. Tanque de fertirrigación



Fuente: fertirrigacion.elregante.com

A través del riego por aspersión se pueden incorporar fertilizantes (normalmente nitrogenados) y tratamientos mediante la incorporación a la red de agua a presión del caldo a aplicar. En cualquier caso, se necesita que la sustancia a aplicar se disuelva muy bien en el agua. Los métodos más comunes en riego por aspersión, para incorporar tratamiento, dado que las instalaciones suelen ser de campo, y son:

- Inyector Venturi.

Figura 53. Venturi intercalado en una red de riego



Fuente: fertilirrigacion.elregante.com

- A través de la cuba de tratamientos.

Figura 54. Cuba de tratamientos



Fuente: fertilirrigacion.elregante.com

- Bombas inyectoras

Figura 55. Bomba de membrana

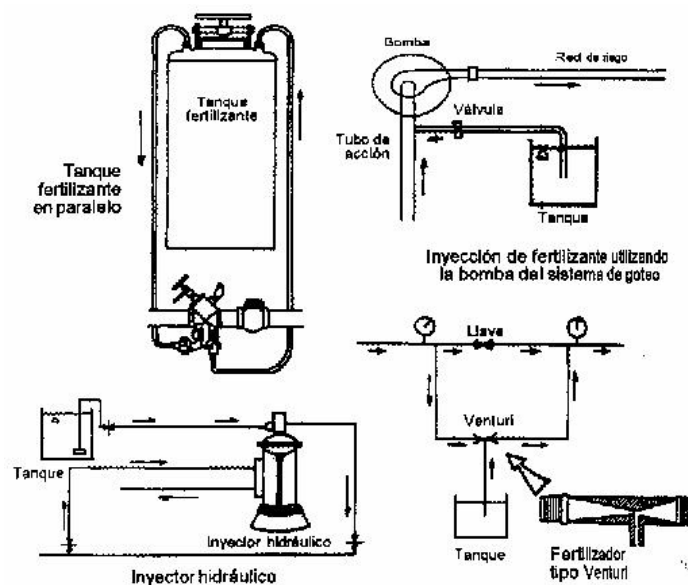


Fuente: fertilirrigacion.elregante.com

3.3.1 Ventajas de la fertirrigación.

- Ahorro de fertilizantes.
- Ahorro de mano de obra en la distribución de abonos.
- Mejor asimilación y rapidez de actuación de los fertilizantes.
- Mejor distribución (tanto en superficie como en el perfil del suelo, ocupando los nutrientes todo el bulbo creado por el emisor).
- Control de pérdida de nutrientes con buen manejo.
- Gran flexibilidad en la aplicación, lo que permite la adecuación del abonado a las necesidades del cultivo en cada momento.
- Incremento del rendimiento y mejora de la calidad de la cosecha.

Figura 56. Métodos de inyección de fertilizante para un sistema de aspersión



Fuente: fertirrigacion.elregante.com

3.3.2 Inconvenientes de la fertirrigación.

- Mayor coste de inversión inicial (instalaciones y equipos).
- Necesidad de una formación básica para el manejo de los equipos y fertilizantes.

- Necesidad de un sistema de riego con buena uniformidad para garantizar la correcta distribución en el suelo.
- Utilización de abonos con propiedades adecuadas (solubilidad, pureza, etc.).
- Posible riesgo de falta de micronutrientes por la pureza de los abonos líquidos.
- Riesgo de obturaciones de goteros por precipitados.
- Posible mayor coste de la unidad fertilizante al tener que usar abonos solubles y compatibles con el agua de riego para evitar precipitados.

3.4 Automatización del riego

3.4.1 Automatización convencional. Es posible automatizar cualquier sistema de riego instalado, sea cual sea la dimensión de éste, no obstante su uso está más extendido en riegos por aspersión y difusión y en riegos localizados, sistemas estos que son los más utilizados.

Hay muchos componentes que se utilizan para la automatización los sistemas de riego, sin embargo los elementos que más se usan de son las electroválvulas, programadores y los sensores.

Figura 57. Componentes utilizados para la automatización de un sistema de riego



Fuente: www.rregar.com

La automatización del riego se puede realizar considerando el tiempo de riego, el volumen de agua a emplear o el agotamiento del agua en el suelo, no obstante, dado que la más extendida y la más fácil de manejar es la automatización por tiempos.

Los sistemas de automatización por tiempos se basan en la determinación y programación del tiempo de duración del riego, para que el sistema suministre el volumen de agua necesario para el adecuado estado de las plantas.

El cálculo del tiempo de riego se realiza en función de las necesidades de las plantas, el área mojada por los emisores y el caudal que éstos suministran, transcurrido el tiempo determinado, el riego se detiene automáticamente.

Para automatizar un riego por aspersión podríamos hacerlo de la siguiente manera:

- Tener controlado el arranque y parada de la bomba a través de un reloj para poder programarlo y con algún mecanismo de seguridad básico, como aquellos que paran la bomba si hay una sobrepresión (señal de que no se han abierto las electroválvulas) o si hay ausencia de presión en la red (señal de alguna rotura).

Lo óptimo sería tener controlado el grupo de bombeo con un variador de frecuencia, que hace arrancar el motor en la medida y proporción de la demanda de agua.

Figura 58. Esquema de una automatización con electroválvulas en riego.



Fuente: www.rregar.com

- Organizar nuestro sistema de tuberías generales de forma que tengamos una toma de la tubería general por cada bloque de riego.
- Instalar una red de electroválvulas que, para evitar tirar cableado, podemos hacerlas funcionar con pilas y programarlas vía radio con un programador manual.

Con este sistema podemos programar que las electroválvulas vayan abriendo y cerrando de acuerdo a las necesidades de aplicar los riegos.

3.4.2 Automatización con un microcontrolador. Componentes utilizados para la automatización de un sistema de tecnificado de riego por aspersión:

- Bomba impulsora.

- Cañerías de distribución.
- Controlador lógico programable
- Alas regadoras.
- Aspersores.
- Accesorios.

Condiciones para su instalación:

- Cantidad apropiada de agua y regularidad del abastecimiento.
- El clima.
- Las propiedades físicas del suelo, infiltración y la capacidad de retención de agua.
- El costo y la disponibilidad de energía eléctrica.

Disposición del sistema: Para el trazado de los ramales laterales, se debe considerar:

- Extensión y forma del terreno.
- La longitud máxima de los ramales.
- La dirección del viento dominante.
- La dirección de las hileras del cultivo a regar.
- La topografía del terreno.

Condiciones de instalación:

- Tuberías principales en la dirección de la pendiente principal.
- Ramales laterales perpendiculares a los vientos dominantes.
- Deben evitarse ramales largos.

Para el diseño se debe tener en cuenta:

- a. Cálculo de la dosis: Características del suelo y profundidad radicular.
- b. La precipitación máxima: no debe generar escurrimiento ni charcos.

- c. Participan el tipo de pendiente, textura y cobertura vegetal.
- d. Duración de cada posición: relaciona la dosis y la precipitación máxima.
- e. Número de ramales laterales: se obtiene en base al turno de riego y la duración de cada ramal.
- f. Número de aspersores: sale del espaciamiento elegido entre aspersores.
 - La disposición puede ser triangular, rectangular o cuadrada.
 - Los espacios entre aspersores van de 6x6 m a 60x60 m.

$< \text{Separación } Q <$ Gotas más finas Riego + uniforme.
 $> \text{Separación } Q >$ Gotas más gruesas Riego – uniforme.
- g. Números de alas regadoras: se calcula por las dimensiones del campo, la separación entre alas regadoras y el número máximo de posiciones de un ala.
- h. Caudal del aspersor y caudal total: el caudal del aspersor se calcula con la precipitación máxima adoptada y la separación entre aspersores. El caudal total se calcula con el número de aspersores por ramal y de la cantidad total de alas regadoras necesarias para regar el campo.
- i. Elección del aspersores base a:
 - Presión de trabajo.
 - Caudal requerido por el aspersor.
 - Radio de mojado.
- j. Coeficiente de uniformidad: debe controlarse la distribución de la lluvia artificial, para observar uniformidad en el riego. Es conveniente efectuar ensayos de medición de la precipitación y observar su distribución.
- k. Diseño de ramales laterales:
 - La presión de trabajo en el ramal debe ser uniforme.
 - La diferencia de presión entre 2 aspersores cualesquiera de un ramal, no debe ser mayor al 20 % de la presión de trabajo del aspersor elegido.

- El diámetro de las cañerías deben ser aquél que cumpla con las condiciones de las pérdidas.
- l. Diseño de la cañería principal: se calcula con el caudal y con las pérdidas por rozamiento y fricción.
- m. Elección de la bomba.

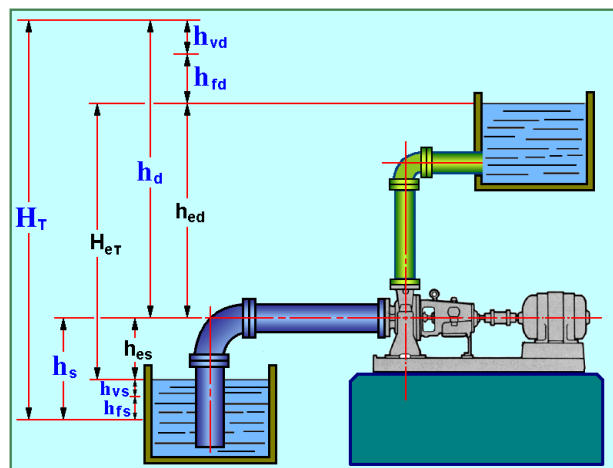
Debe calcularse:

- Altura total de trabajo y la potencia de la bomba.
- La altura total de trabajo se calculan en base a:
- Desnivel topográfico entre el nivel del agua en la bomba y el aspersor más elevado.
- La presión de trabajo del aspersor.
- Pérdidas de carga en las cañerías.
- La potencia de la bomba se obtiene con el caudal (Q) y la altura total de trabajo.

3.5 Sistema de bombeo de agua

Los sistemas de bombeo comprenden tuberías, accesorios y demás elementos que posibilitan el transporte del fluido desde el depósito hasta el sitio de utilización del mismo, pudiendo dividirse en el subsistema de succión y el de descarga.

Figura 59. Alturas sistema de cabeza de succión positivo



Fuente: RAMIREZ, A. Texto de Fluidos.

$$H_T = h_s + h_d \quad [m] \quad (14)$$

Dónde:

H_T = columna total, altura útil o efectiva [m]

h_s = cabeza o columna dinámica de succión [m]

h_d = cabeza o columna dinámica de descarga [m]

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO POR ASPERSIÓN

A continuación procederemos a realizar el diseño de un sistema eficiente de riego tecnificado por aspersión en una parcela demostrativa, en base a las investigaciones y a los estudios previamente realizados a este proyecto; para lo cual, hemos tomado en cuenta todos aquellos parámetros disponibles y requeridos del sistema.

Los fenómenos climatológicos naturales y las herramientas tecnológicas e informáticas que nos ofrece nuestra era, con el fin de aprovechar al máximo los recursos que nos permitan cumplir con nuestro objetivo. Para poder calcular los parámetros requeridos del sistema, hemos agrupado en diversas tablas las características y datos reales disponibles.

Así tenemos:

Tabla 15. Parámetros disponibles de diseño de la parcela

PARÁMETROS DISPONIBLES DE DISEÑO DE LA PARCELA	
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Ubicación	Cevallos – Tungurahua
Clima	Templado – frío
Tipo de suelo	Arenoso grueso sobre subsuelo compacto
Tipo de cultivo	Alfalfa
Forma del terreno	Rectangular
Superficie del terreno	Por surcos
Sistema de riego actual	Por gravedad
Sistema de riego a implementar	Por aspersión
Operación del sistema	Automatizado
Disponibilidad de energía	Sí (eléctrica monofásica 110 V)
Fuente de agua	Cisterna (50 m ³)

Fuente: Autores

4.1 Parámetros de diseño topográfico y climático de la parcela

Algunas características de diseño pueden ser obtenidas mediante mediciones breves o datos estadísticos, las mismas que nos serán de gran utilidad.

Entre algunas de las características medurables y disponibles para nuestro diseño tenemos las siguientes:

Tabla 16. Características topográficas y climáticas de la parcela

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS DE LA PARCELA				
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANT.	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Largo	L	48	m	-
Ancho	A	15	m	-
Superficie	S	720	m ²	S = l x a
Pendiente	M	2	%	-
Altitud media	h _{snm}	2 892	msnm	(Anexo B)
Latitud	Lat	1,35	°S	(Anexo C)
Longitud	Long	78,62	°E	(Anexo C)
Velocidad media del viento	V	6.4 154	Km/h Km/día	(Anexo D)
Temperatura máxima	T _{máx}	21.7	°C	(Anexo E)
Temperatura mínima	T _{mín}	7.4	°C	(Anexo E)
Precipitación máxima	p _{máx}	15,5	mm	(Anexo F)
Precipitación mínima	p _{mín}	0	mm	(Anexo F)
Humedad relativa máxima	h _{rmáx}	84	%	(Anexo G)
Humedad relativa mínima	h _{rmín}	74	%	(Anexo G)

Fuente: www.fao.org

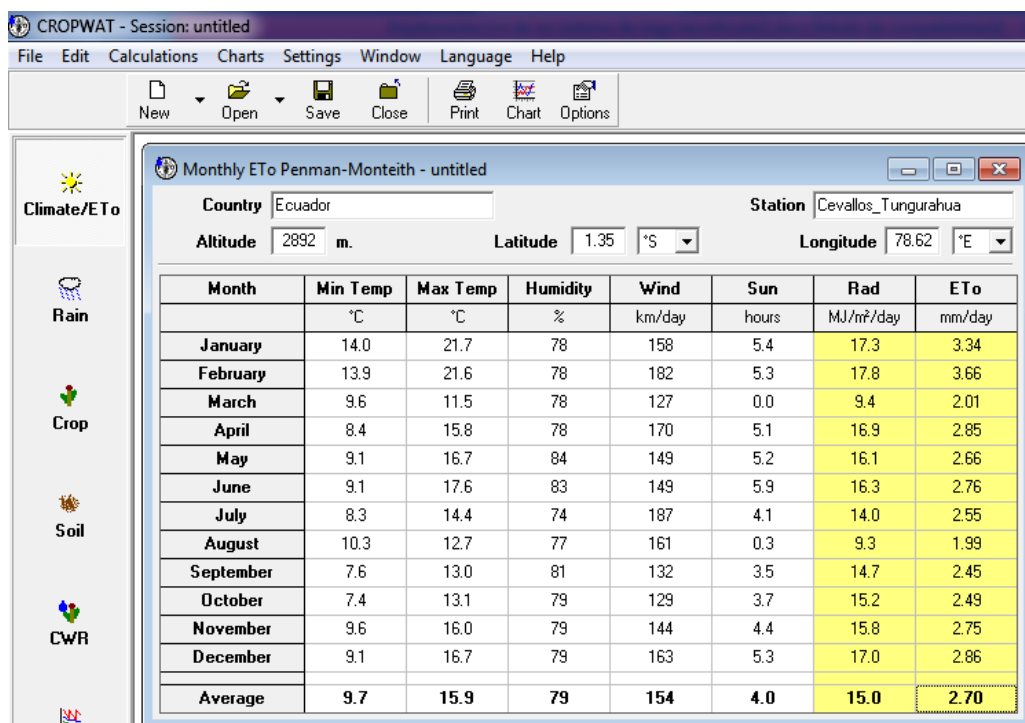
4.2 Diseño agronómico

Para la realización del diseño agronómico, emplearemos el programa Cropwat 8.0 (Software libre disponible en internet), mismo que nos ayudará en el cálculo de parámetros importantes en la tecnificación del riego, en base a datos conocidos.

4.2.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o). Para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial, emplearemos datos obtenidos en base al Anexo D de:

- Altitud (m)
- Latitud (°S); (°N)
- Longitud (°E); (°O)
- Temperatura máxima (°C)
- Temperatura mínima (°C)
- Humedad relativa (%)
- Velocidad del viento (km/día)

Tabla 17. Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante Cropwat



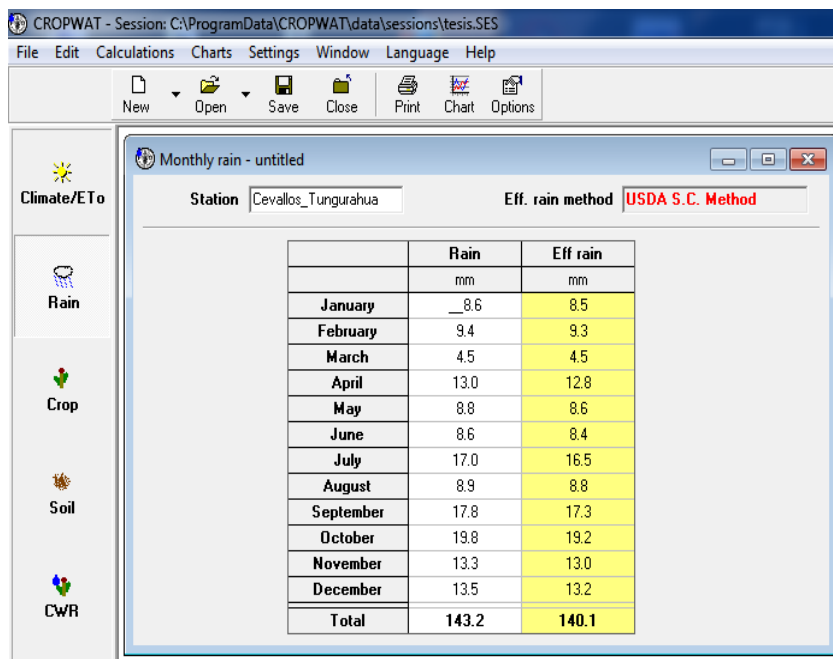
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m²/day	ETo mm/day
January	14.0	21.7	78	158	5.4	17.3	3.34
February	13.9	21.6	78	182	5.3	17.8	3.66
March	9.6	11.5	78	127	0.0	9.4	2.01
April	8.4	15.8	78	170	5.1	16.9	2.85
May	9.1	16.7	84	149	5.2	16.1	2.66
June	9.1	17.6	83	149	5.9	16.3	2.76
July	8.3	14.4	74	187	4.1	14.0	2.55
August	10.3	12.7	77	161	0.3	9.3	1.99
September	7.6	13.0	81	132	3.5	14.7	2.45
October	7.4	13.1	79	129	3.7	15.2	2.49
November	9.6	16.0	79	144	4.4	15.8	2.75
December	9.1	16.7	79	163	5.3	17.0	2.86
Average	9.7	15.9	79	154	4.0	15.0	2.70

Fuente: Autores

El promedio de la evapotranspiración potencial anual obtenida es 2.70mm/día.

4.2.2 Cálculo de la precipitación efectiva

Tabla 18. Cálculo de la precipitación efectiva mediante Cropwat 8.0

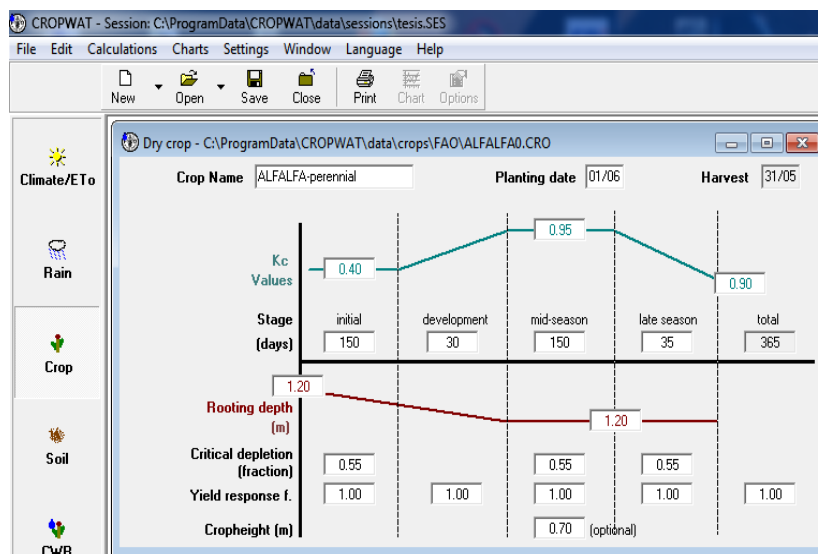


Fuente: Autores

La precipitación efectiva anual obtenida es 140.1mm.

4.2.3 Datos del cultivo y de la fecha de siembra. Para el cálculo de la dosis de riego adecuada y de la cantidad de agua requerida para el cultivo, es necesario ingresar los datos respectivos del tipo de cultivo, cuyos datos vienen programados previamente en el software Cropwat 8.0; en base a ello, tenemos:

Figura 60. Datos requeridos por la alfalfa en base a su fecha de siembra



Fuente: Autores

4.2.4 Datos de suelo. El ingreso de los datos de suelo nos ayudarán en la programación de riego, para ello cargamos los datos sugeridos por el software Cropwat 8.0, en nuestro caso para suelos arenosos negros.

Figura 61. Datos de suelo arenoso proporcionados por Cropwat 8.0

Soil name: BLACK CLAY SOIL

General soil data

Total available soil moisture (FC - WP): 200.0 mm/meter

Maximum rain infiltration rate: 30 mm/day

Maximum rooting depth: 900 centimeters

Initial soil moisture depletion (as % TAM): 50 %

Initial available soil moisture: 100.0 mm/meter

Fuente: Autores

4.2.5 Cálculo del requerimiento de agua del cultivo. En base al tipo de cultivo, Cropwat 8.0 nos ayuda a calcular el requerimiento de agua para cada mes, en nuestro caso para el cultivo de alfalfa. Así tenemos:

Tabla 19. Requerimiento hídrico de la alfalfa de acuerdo a Cropwat 8.0

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jun	1	Init	0.40	1.09	10.9	2.6	8.3
Jun	2	Init	0.40	1.11	11.1	2.5	8.6
Jun	3	Init	0.40	1.08	10.8	3.5	7.3
Jul	1	Init	0.40	1.05	10.5	5.1	5.4
Jul	2	Init	0.40	1.02	10.2	6.2	4.0
Jul	3	Init	0.40	0.95	10.4	5.1	5.3
Aug	1	Init	0.40	0.84	8.4	3.3	5.2
Aug	2	Init	0.40	0.76	7.6	2.2	5.4
Aug	3	Init	0.40	0.83	9.1	3.4	5.8
Sep	1	Init	0.40	0.92	9.2	5.0	4.2
Sep	2	Init	0.40	0.98	9.8	6.1	3.8
Sep	3	Init	0.40	0.99	9.9	6.2	3.7
Oct	1	Init	0.40	0.99	9.9	6.4	3.5
Oct	2	Init	0.40	0.99	9.9	6.7	3.2
Oct	3	Deve	0.41	1.05	11.6	5.9	5.6
Nov	1	Deve	0.54	1.43	14.3	4.8	9.5
Nov	2	Deve	0.70	1.93	19.3	4.1	15.2
Nov	3	Mid	0.85	2.38	23.8	4.2	19.6
Dec	1	Mid	0.89	2.51	25.1	4.5	20.6
Dec	2	Mid	0.89	2.54	25.4	4.6	20.8
Dec	3	Mid	0.89	2.69	26.9	4.0	25.6
Jan	1	Mid	0.89	2.83	28.3	3.2	25.1
Jan	2	Mid	0.89	2.98	29.8	2.6	27.2
Jan	3	Mid	0.89	3.07	30.7	2.8	31.0
Apr	1	Mid	0.89	2.35	23.5	3.7	19.7
Apr	2	Mid	0.89	2.62	26.2	4.8	21.4
Apr	3	Late	0.89	2.53	25.3	4.2	21.2
May	1	Late	0.88	2.39	23.9	3.2	20.7
May	2	Late	0.87	2.30	23.0	2.7	20.3
May	3	Late	0.86	2.31	23.1	2.8	22.6
					673.0	140.2	532.8

Fuente: Autores

4.2.6 Programación de riego del cultivo y caudal requerido. Estas características son importantes tanto para la programación del programador LOGO!, como para el cálculo de la potencia de la bomba. Gracias a Cropwat 8.0 obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 20. Caudal requerido por la alfalfa y su programación de riego Cropwat

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eto	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
15 Jun	15	Init	0.0	1.00	100	55	132.5	0.0	0.0	189.3	1.46
11 Dec	194	Mid	0.0	1.00	100	55	132.2	0.0	0.0	188.8	0.12
2 Feb	247	Mid	0.0	1.00	100	56	133.5	0.0	0.0	190.7	0.42
2 Apr	306	Mid	0.0	1.00	100	55	132.5	0.0	0.0	189.3	0.37
31 May	End	End	0.0	1.00	0	50					

Totals											
Total gross irrigation	758.1	mm	Total rainfall	143.2	mm						
Total net irrigation	530.7	mm	Effective rainfall	139.5	mm						
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	3.6	mm						
Actual water use by crop	670.7	mm	Moist deficit at harvest	120.5	mm						
Potential water use by crop	670.7	mm	Actual irrigation requirement	531.1	mm						
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	97.5	%						
Deficiency irrigation schedule	0.0	%									

Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

Fuente: Autores

4.2.7 Resumen técnico agronómico. Como resumen de datos obtenidos en el software, tenemos:

Tabla 21. Requerimientos técnico-agronómicos de la alfalfa Cropwat 8.0

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. ALFALFA-perennial	83.3	80.8	52.1	61.2	32.3	24.2	14.8	16.3	11.6	26.7	59.6	67.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	2.6	2.7	1.6	1.9	1.0	0.8	0.5	0.5	0.4	0.8	1.9	2.1
in mm/month	79.1	76.8	49.5	58.2	30.7	23.0	14.1	15.5	11.0	25.3	56.6	63.6
in l/s/ha	0.30	0.32	0.18	0.22	0.11	0.09	0.05	0.06	0.04	0.09	0.22	0.24
Irrigated area	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
(% of total area)												
Irr.req. for actual area	0.31	0.33	0.19	0.24	0.12	0.09	0.06	0.06	0.04	0.10	0.23	0.25
(l/s/ha)												

Fuente: Autores

4.3 Diseño hidráulico y esquemático-gráfico

En el proceso de diseño de nuestro sistema de riego, es necesario contar con un esquema gráfico que nos permita realizar un análisis real de los requerimientos del sistema.

4.3.1 Elección del aspersor a utilizar. Para la elección del aspersor consideraremos como base principal la gama disponible en el mercado, ya que en la actualidad existen diversas marcas que nos ofrecen una amplia variedad de aspersores de acuerdo a las necesidades del cultivo y del dimensionamiento del terreno. El alcance de un aspersor es generalmente el primer criterio de selección, seguido del caudal de agua requerido para el cultivo. En nuestro caso emplearemos aspersores de medio alcance de la marca NETAFIM. El modelo MEGANET 650 se adapta sutilmente a las dimensiones de nuestra parcela, a las necesidades hídricas y al cultivo seleccionado. Dichos aspersores cuentan con las siguientes características:

Tabla 22. Selección de aspersores de medio alcance NETAFIM

MODELO	CODIGO DE COLOR DE LA BOQUILLA	TAMAÑO DE BOQUILLA (MM.)	K	X	MAXIMA PRESION DE TRABAJO (BAR)	WETTED DIAMETER (M.) 100 CM. ABOVE GROUND TRAJECTORY ANGLE 24D CODE COLOR BLACK	DIAMETRO DE HUMIDIFICACION (M.) 50 CM. ARRIBA DEL SUELO ANGULO DE TRAYECTORIA 15D CODIGO DE COLOR GRIS
350	Verde	2.44	72.3	0.5	3.0	14.0	14.0
450	Azul	2.79	92.2	0.5	3.0	16.0	14.0
550	Café	3.08	110.5	0.5	3.0	17.0	14.0
650	Naranja	3.37	135.6	0.5	3.0	17.0	15.0
750	Rojo	3.68	157.0	0.5	3.0	17.0	16.0

Fuente: Catálogo aspersores NETAFIM

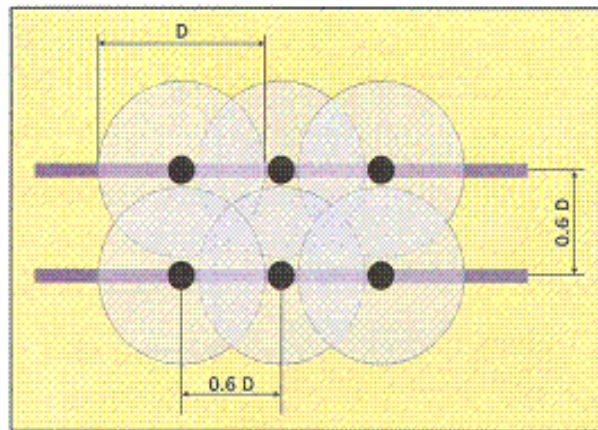
Tabla 23. Parámetros nominales del aspersor NETAFIM 650

ASPERSOR NETAFIM 650				
CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Marca	-	-	-	NETAFIM
Serie	-	-	-	650
Alcance radial	R	4 – 8	m	(Anexo B)
Alcance circular	D	15	m	(Anexo C)
Presión	P	2 – 3	BAR	(Anexo C)
Caudal	Q	250	l/h	(Anexo D)
Ajuste sectorial	A	180 – 360	°	(Anexo D)
Altura del cuerpo	H ₁	16,8	cm	(Anexo D)
Altura de elevación	H ₂	10,2	cm	(Anexo D)
Diámetro expuesto	D	2,9	cm	(Anexo D)

Fuente: Catálogo aspersores NETAFIM

4.3.2 Disposición de aspersores en el cultivo. La distribución de los aspersores en la parcela fue determinada en base a la eficiencia de riego obtenida por el marco de riego, siendo la más ventajosa la distribución cuadrangular, desde el punto de vista de distribución de la lluvia y los efectos del viento.

Figura 62. Distribución seleccionada de los aspersores para el sistema de riego tecnificado



Fuente: www.ingenieriarural.com

En base a dicha distribución, y con el alcance circular del aspersor seleccionado obtenemos la ubicación respectiva de los aspersores, así como el número de ramales para su respectiva alimentación.

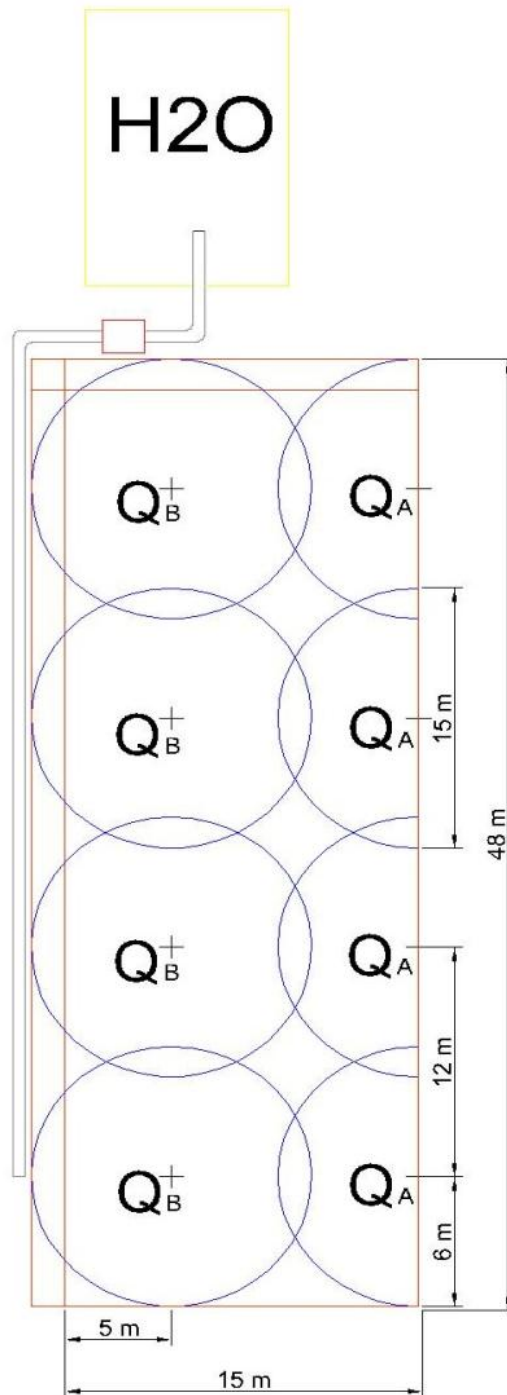
Tabla 24. Parámetros de disposición de los aspersores

PARÁMETROS DE DISPOSICIÓN DE LOS ASPERSORES				
CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	FÓRMULA	CÁLCULO	UNIDAD
Separación entre emisores	e_1	$0,6 \times D$	$0,6 \times 15 = 9$	M
Separación entre ramales	e_2	$0,6 \times D$	$0,6 \times 15 = 9$	M
Número de ramales principales	r_p	$\frac{a}{D}$	$15m / 15m = 1$	Ramal
Número de ramales secundarios	r_s	$\frac{l}{0,6xD} - 1$	$\frac{48}{0,6 \times 15} - 1 = 4$	Ramal
Número de aspersores por ramal	N_{asp}	$\frac{l - D}{2e_1}$	$\frac{50 - 15}{2(9)} = 2$	Aspersor

Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos>

Mediante los datos obtenidos en la tabla realizaremos la distribución respectiva en un esquema gráfico de la parcela; así tenemos:

Figura 63. Esquema de posición de aspersores y su área de funcionamiento.



Fuente: Autores

Una vez realizada la distribución de los aspersores mediante el marco de riego cuadrangular, observamos que el número de aspersores requerido es de 4 circulares y 4 sectoriales.

4.3.3 Cálculo del caudal requerido. Es de suma importancia conocer el caudal necesario que utilizaremos para que el sistema sea eficiente, mismo que será calculado mediante dos puntos entre los cuales debe existir una diferencia de energía. El cálculo nos proporcionará el dato necesario para mover cierto volumen de líquido, que deberá vencer la rugosidad de la tubería y la viscosidad del fluido que oscilara entre los regímenes laminar, transicional y turbulento.

En base a la figura 61 y la tabla 23 y 24, tenemos:

$$Q_T = 4Q_B + 4Q_A \quad (15)$$

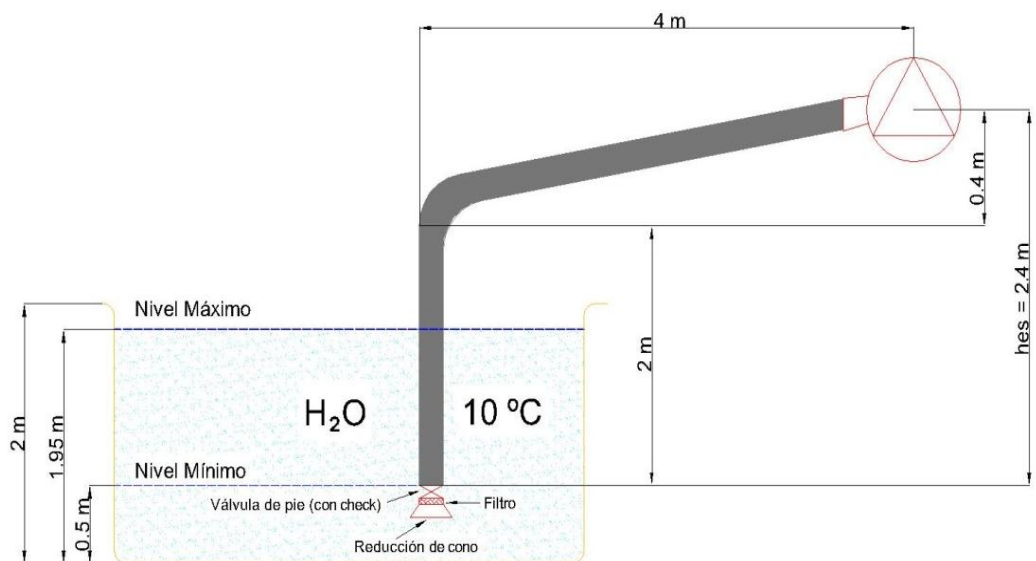
$$Q_T = 4 (1.030 \text{ m}^3/\text{h}) + 4(0.650 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$Q_T = (4.12 + 2.6) \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_T = 6.72 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.3.4 Cálculo de las pérdidas en la succión (h_s). El procedimiento para conocer la longitud que debemos superar para alcanzar la altura necesaria que impulsará el fluido hacia el sistema desde su almacenamiento, es necesario analizar diferentes factores como la cantidad de accesorios (tees, codos, válvulas, tipo de tubería, etc.), se interpretan mediante diferentes cálculos en una medida de longitud, para sumarlas a las ya conocidas alturas dentro del sistema en primera instancia (sistema de succión), que más adelante nos ayudará a la correcta selección del equipo de bombeo.

Figura 64. Diagrama de la succión del sistema



Fuente: Autores

Altura estática de succión “ h_{es} ”. Nos referimos a la altura estática de succión a la suma de longitudes existentes entre la entrada del fluido al sistema en la tubería hasta el eje de funcionamiento de la bomba, así:

$$h_{es} = 2\text{m} + 0.4\text{m}$$

$$h_{es} = 2.4\text{m}$$

Caudal total “ Q_t ”. Para obtener éste dato sumamos los caudales que consumen todos los aspersores dentro de nuestro sistema, como resultado tendremos los galones por minuto necesarios que el equipo de bombeo tendrá que entregar al sistema.

$$Q_A = 0.650 \text{ m}^3/\text{h} \quad ; \quad \#asp_A = 4$$

$$Q_B = 1.030 \text{ m}^3/\text{h} \quad ; \quad \#asp_B = 4$$

$$Q_T = (\#asp_A)(Q_A) + (\#asp_B)(Q_B) \quad (16)$$

$$Q_T = 4(0.650 \text{ m}^3/\text{h}) + 4(1.030 \text{ m}^3/\text{h})$$

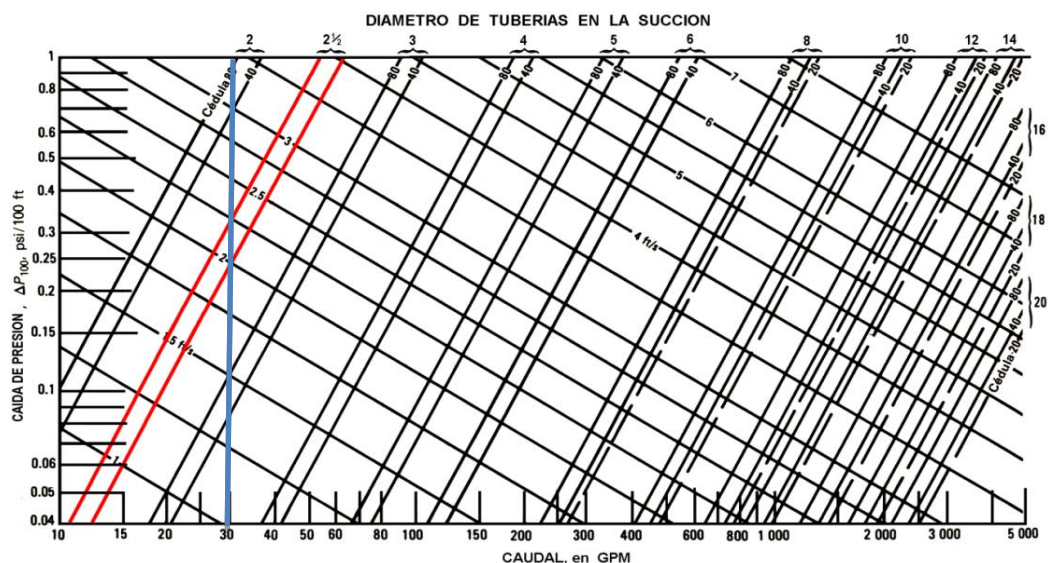
$$Q_T = 6.72 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_T = 6.72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left[\frac{264.2 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} \right] \left[\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right] = 29.5904 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$Q_T \cong 30 \text{ GPM}$$

Diámetro de la tubería para mínimas pérdidas (> ϕ). Con el dato anterior, estamos en capacidad de obtener el diámetro de la tubería en la succión:

Figura 65. Selección del diámetro de la tubería en la succión.



Fuente: Autores

Para $Q_T = 30 \text{ GPM} \rightarrow (\text{Figura 61}) \rightarrow d_s = 3 \text{ in}$

$$d_s = 3 \text{ in} \left[\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right] \left[\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right] = 0.0762 \text{ m} \rightarrow d_s = 0.0762 \text{ m}$$

Velocidad “ v_s ”

$$V_s = \frac{4Q_T}{\pi d_s^2} = \frac{4 (6.72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{\pi (0.0762 \text{ m})^2} = 1473.5655 \frac{\text{m}}{\text{h}} \quad (17)$$

$$V_s \cong 1473.6 \text{ m/h}$$

Rugosidad absoluta “ ε ”

Para PVC o superficie lisa \rightarrow (Tabla 13) $\rightarrow \varepsilon = 0.001 \text{ mm}$.

$$\varepsilon = 0.001 \text{ mm} \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) = 10^{-6} \text{ m} \rightarrow \varepsilon = 10^{-6} \text{ m}$$

Viscosidad cinemática “ ϑ ”. Con el siguiente cálculo relacionaremos a la temperatura que circula por el ambiente con el fluido propiamente dicho, para determinar cuál es la variación y resistencia que presenta el flujo a fluir por los conductos, accesorios y demás aparatos presentes:

$$\text{Para } ^\circ\text{T} = 10 ^\circ\text{C} \rightarrow (\text{Tabla 14}) \rightarrow \vartheta = 1.31 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\vartheta = 1.31 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 4.716 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$$

$$\vartheta = 4.716 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$$

Rugosidad relativa “ R_r ”. La rugosidad relativa es un parámetro adimensional que obtendremos al dividir la rugosidad absoluta del material utilizado en la tubería y el diámetro obtenido en procedimientos anteriores, como sigue a continuación:

$$\varepsilon = 10^{-6} \text{ m (rugosidad absoluta)}$$

$$R_r = \frac{\varepsilon}{d_s} = \frac{10^{-6} \text{ m}}{0.0762 \text{ m}} = 0.00001312335 \rightarrow R_r = 0.00002 \quad (18)$$

Número de Reynolds “ R_e ”. Se hace referencia a este cálculo ya que con este dato podremos determinar mediante la fórmula de Swamee-Jain o por medio del diagrama de Moody el coeficiente de fricción presente:

$$R_e = \frac{V_s \cdot d_s}{\nu} = \frac{\left(1473.6 \frac{m}{h}\right)(0.0762m)}{4.716 \times 10^{-3} \frac{m^2}{h}} = 23809.5191123 \quad (19)$$

$$R_e = 2.4 \times 10^4$$

Coeficiente de fricción “λ”. Como se dijo anteriormente estos datos nos han ayudado a obtener ya sea matemáticamente o gráficamente este número adimensional, se ha optado por utilizar ambos métodos y confirmar su resultado.

Para:

$$R_r = 0.00002 \quad \rightarrow (\text{Figura 50}) \rightarrow \lambda = 0.024$$

$$R_e = 2.4 \times 10^4$$

Comprobando mediante la ecuación de Fanno:

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{R_r}{3.7} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}}\right)\right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.00002}{3.7} + \frac{5.74}{23809.5^{0.9}}\right)\right]^2} = 0.024 \quad (20)$$

$$\lambda = 0.024$$

Pérdidas de carga por fricción “h_{fs}”. Utilizando la conocida fórmula de Darcy-Weisbach y utilizando los datos que hemos obtenido con anticipación, procedemos de la siguiente manera:

$$\text{Para: } g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ og } = 127 \ 137 \ 600 \text{ m/h}^2$$

$$h_{fs} = \lambda \frac{L \cdot V_s^2}{d_s \cdot 2g} = 0.051 \frac{(6m) \left(1473.5655 \frac{m}{h}\right)^2}{(0.0762m)(2) \left(127 \ 137 \ 600 \frac{m}{h^2}\right)} = 0.016m$$

$$h_{fs} \cong 0.0167 \text{ m}$$

Pérdidas de carga por velocidad “h_{vs}” (carga cinética). Los regímenes de velocidad del fluido son tomados en cuenta arrojando el siguiente resultado:

$$h_{vs} = \frac{V_s^2}{2g} = \frac{\left(1473.5655 \frac{m}{h}\right)^2}{2 \left(127 \ 137 \ 600 \frac{m}{h^2}\right)} = 0.00853954818 \text{ m}$$

$$h_{vs} = 0.0085 \text{ m}$$

Pérdida de carga por accesorios “ h_{as} ”. Las pérdidas consideradas como alturas no son iguales en todos sus puntos, especialmente en donde se han utilizado accesorios, con la ayuda de tablas estos valores son normados y tomando aquellos diagramas se obtiene:

Válvula de pie	$K_{VP} = 0.8$	
Reducción de cono	$K_{RC} = 1.0$	
Reducción excéntrica	$K_{RE} = 1.0$	
Filtro	$K_F = 1.5$	
→ (Anexos J-K) →		→ $\sum K = 4.3$

$$h_{as} = \sum K \left(\frac{V^2}{2g} \right) = \sum K \cdot h_{Vs} = 4.3(0.0085m) = 0.03672005717 \text{ m} \quad (21)$$

$$h_{as} = 0.0367 \text{ m.}$$

Pérdidas totales en la succión “ h_s ”. El paso que sigue nos muestra ya el resultado de pérdidas que el sistema tiene solamente en la succión del fluido es decir desde su almacenamiento hasta el generador de energía, tal pérdida no es más que la suma de todas las anteriores y su resultado deriva directamente junto con las pérdidas de descarga en la selección oportuna y correcta del equipo de bombeo adecuado, siendo así tenemos:

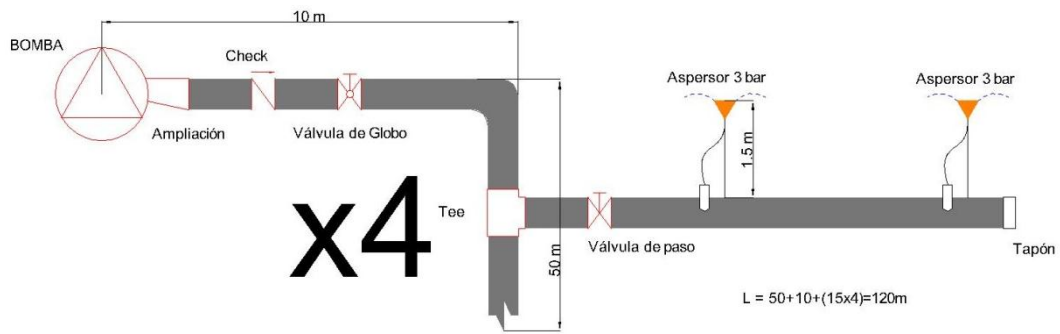
$$h_s = h_{es} + h_{fs} + h_{vs} + h_{as} = (2.4000 + 0.0167 + 0.0085 + 0.0367)m \quad (22)$$

$$h_s \cong 2.5 \text{ m.}$$

4.3.5 Cálculo de las pérdidas en la descarga. Seguidamente el cálculo de las pérdidas en la descarga o llamadas también secundarias es prácticamente el mismo procedimiento que en las pérdidas primarias diferenciándose en que tendremos a más de las pérdidas ya conocidas, la presión de aspersión que al igual que las otras debe ser transformada y considerada una altura a superar y posteriormente tomada en cuenta para todo el sistema de descarga.

También se debe aclarar que el cálculo que se muestra a continuación se lleva a cabo desde el equipo de bombeo hasta la salida del líquido, en este caso la boquilla de los aspersores, obteniendo así los datos que se muestran a continuación:

Figura 66. Diagrama de la descarga en el sistema de riego tecnificado (x4)

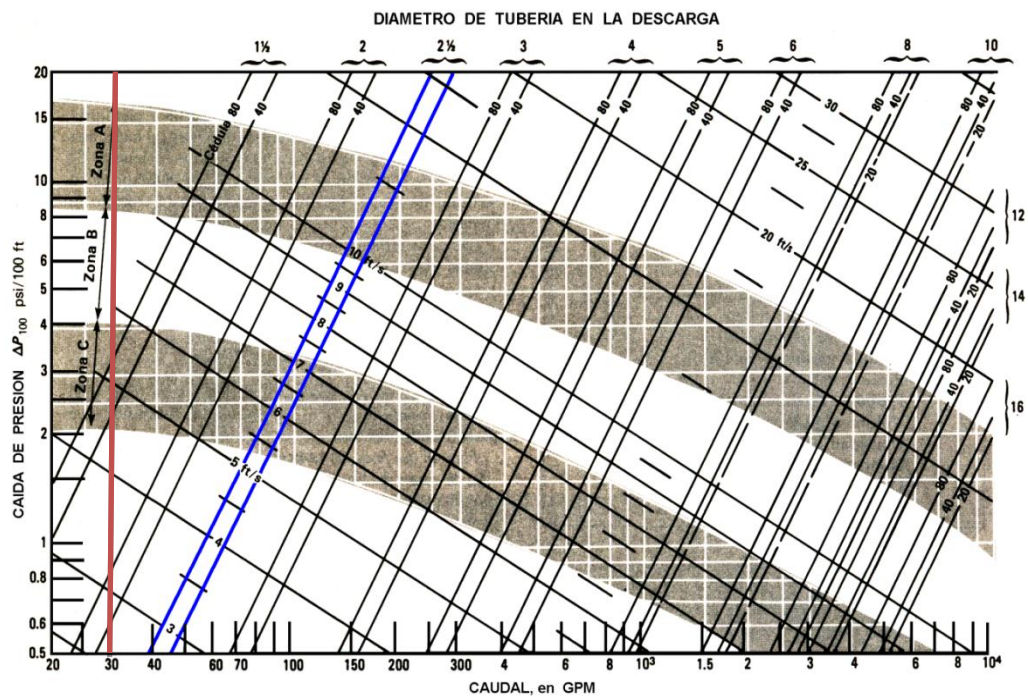


Fuente: Autores

Diámetro de la tubería para mínimas pérdidas (>Ø)

Para $Q_T = 30 \text{ GPM} \rightarrow (\text{Figura 67}) \rightarrow d_D = 2 \text{ in}$

Figura 67. Selección de diámetro de la tubería de descarga para el sistema.



Fuente: Autores

$$d_D = 2 \text{ in} \left[\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right] \left[\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right] = 0.0508 \text{ m} \rightarrow d_D = 0.0508 \text{ m}$$

Velocidad " v_d "

$$V_D = \frac{4Q_T}{\pi d_D^2} = \frac{4 \left(6.72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\pi (0.0508 \text{ m})^2} = 3315.52240553 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$V_D \cong 3315.5 \frac{m}{h}$$

Rugosidad absoluta “ε”

Para PVC o superficie lisa → (Tabla 13) → $\varepsilon = 10^{-6}m$

Viscosidad cinemática “ν”

Para °T = 10 °C → (Anexo H) → $\nu = 4.716 \times 10^{-3} m^2/h$

Rugosidad relativa “R_r”

$$R_r = \frac{\varepsilon}{d_D} = \frac{10^{-6}m}{0.0508m} = 0.00001968 \rightarrow R_r = 0.00002$$

Número de Reynolds “R_e”

$$R_e = \frac{V_s \cdot d_s}{\nu} = \frac{\left(3315.52 \frac{m}{h}\right)(0.0508m)}{4.716 \times 10^{-3} \frac{m^2}{h}} = 35714.27866$$

$$R_e = 3.6 \times 10^{-4}$$

Coefficiente de fricción “λ”

$$\begin{array}{l} \text{Para } R_r = 0.00002 \\ \text{Re } = 3.6 \times 10^{-4} \end{array} \rightarrow (\text{Figura 49}) \rightarrow \lambda = 0.023$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{R_r}{3.7} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}}\right)\right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.00002}{3.7} + \frac{5.74}{(3.6 \times 10^{-4})^{0.9}}\right)\right]^2} = 0.02249$$

$$\lambda \cong 0.023$$

Pérdidas por fricción “h_{fd}”

$$h_{fD} = \lambda \frac{L \cdot V_D^2}{d_D \cdot 2g} = 0.023 \frac{(120m) \left(3315.5 \frac{m}{h}\right)^2}{2(0.0508m) \left(127\,137\,600 \frac{m}{h^2}\right)} = 2.2974 m$$

$$h_{fD} = 2.2974 m$$

Pérdidas por velocidad “ h_{vd} ” (carga cinética)

$$h_{vD} = \frac{V_D^2}{2g} = \frac{\left(3315.52 \frac{m}{h}\right)^2}{2 \left(127\,137\,600 \frac{m}{h^2}\right)} = 0.00001303911\,m$$

$$h_{vS} = 0.000013\,m$$

Pérdida de carga por accesorios “ h_{ad} ”

Ampliación	$K_A = 1$	
Codo 90° - R largo	$K_C = 0.5$	
Válvula Check	$K_{VC} = 2.4$	
Válvula de Globo → (Anexo J) →	$K_{VG} = 7$	→ $\sum K = 27.7$
Válvula de paso x4	$K_C = 0.2 \times 4 = 0.8$	
Tee x3	$K_T = 2 \times 3 = 6$	
Venturi	$K_V = 10$	

$$h_{aD} = \sum K(h_{vD}) = 27.7(0.000013m) = 0.0003601\,m$$

$$h_{aD} = 0.0003601\,m$$

Altura estática de descarga “ h_{ed} ”

$$P_{ASP} = 2.5\,bar \left(\frac{10.197\,m\,H_2O}{1\,bar} \right) = 25.495m\,H_2O \quad (23)$$

$$P_{ASP} = 25.495m$$

$$h_{eD} = 1.5m + 24.895m = 26.395\,m$$

$$h_{eD} = 26.4\,m$$

Presión media del funcionamiento de los aspersores “ h_{ASP} ”

$$h_{ASP} = P_{ASP} - \frac{h_{aD} + h_{vD} + h_{fD}}{4} \quad (24)$$

$$= 25.495m - \frac{(0.0003601 + 0.000013 + 2.2974)m}{4}$$

$$h_{ASP} = 30.0165 \text{ m} \rightarrow h_{ASP} = 24.895 \text{ m}$$

Pérdidas totales en la descarga “h_d”

$$h_D = h_{eD} + h_{fD} + h_{vD} + h_{aD} \quad (25)$$

$$= (27.00 + 2.2974 + 0.000013 + 0.0003601) \text{ m}$$

$$h_D = 33.8177 \text{ m}$$

4.3.6 Cálculo de la altura total de trabajo de la bomba “H”. Este valor nos muestra claramente cuál es el valor real para el cual debe ser seleccionado el equipo de bombeo, el cual tendrá que reunir todas las características para que el sistema de aspersión trabaje satisfactoriamente.

$$H = h_D + h_S = 26.4 \text{ m} + 2.5 \text{ m} = 28.9 \text{ m}$$

$$H = 28.9 \text{ m} \left(\frac{33.45 \text{ ft}}{10.21 \text{ m}} \right) = 94.68 \text{ ft}$$

Potencia de la bomba “p_b”

$$\eta = 75 \% = 0.75$$

$$Q = 30 \text{ GPM}$$

$$\gamma = 1.001$$

$$H = 28.9 \frac{\text{m}}{H_2O} \left(\frac{33.45 \frac{\text{ft}}{H_2O}}{10.21 \frac{\text{m}}{H_2O}} \right) = 94.66579 \frac{\text{ft}}{H_2O}$$

$$P_B = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{3960 \cdot \eta} = \frac{30(94.66)(1.001)}{3960(0.75)} = 0.95717 \text{ HP} \cong 1 \text{ HP} \quad (26)$$

$$P_B = 1 \text{ HP}$$

4.3.7 Cálculo del NPSH (d)

Presión de vapor “P_v”

$$\text{Para } ^\circ T = 10 ^\circ C \rightarrow (\text{Tabla 14}) \rightarrow P_v = 0.411 \text{ ft} \left(\frac{1 \text{ m}}{3.281 \text{ ft}} \right) = 0.1253 \text{ m}$$

$$P_v = 0.1253 \text{ m}$$

Presión barométrica " P_B "

$$\text{Para } 2900 \text{ msnm} \rightarrow (\text{Anexo I}) \rightarrow P_B = 21 \frac{\text{in}}{\text{Hg}} \left(\frac{0.3486 \frac{\text{m}}{\text{H}_2\text{O}}}{1 \frac{\text{in}}{\text{Hg}}} \right) = 7.2576 \frac{\text{m}}{\text{H}_2\text{O}}$$

$$P_B = 7.2576 \frac{\text{m}}{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{NPSH (d)} = P_B - (h_{es} + h_{fs} + h_{vs} + P_v) = P_B - (h_s + P_v) \quad (27)$$

$$\text{NPSH (d)} = 4.6323 \text{ m}$$

Parámetros de selección de la bomba y componentes utilizados

Finalmente después de sendos cálculos y trazando una eficiencia estimada, debemos seleccionar el equipo de bombeo y nos basaremos de acuerdo al resultado en la potencia requerida, caudal, altura, para proceder a su elección, revisando el mercado que maneja nuestro país, catálogos, recomendaciones de fabricantes, calidad, etc., en cuanto se refiere a las bombas centrífugas.

$$Q = 30 \text{ GPM}$$

$$H = 95 \text{ ft/H}_2\text{O}$$

$$P_B = 1 \text{ HP}$$

Tabla 25. Requerimientos del sistema de riego tecnificado por aspersión (Anexo G).

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Aspersor guarda caminos (accesorio)	4
Válvulas compactas	4
Aspersor Meganet 650	8
Tee Macho	3
Adaptador	6
Tapón	4
Codo 90° PVC	2
Adaptador PCV macho	1
Adaptador PVC hembra	1
Rosca Neplo 1"	1
Rosca Neplo ½"	1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Tee rosca neplo 1"	1
Tee rosca neplo ½"	1
Codo rosca ½	1
Codo rosca 1" 90°	1
Tapón rosca hembra 1"	1
Válvula check plástica	1
Válvula roscable PVC	1
Manómetro 100 PSI	2
Pega	1
Soportes ½"	8
Cinta Teflón	3
Montura	1
Conector inicial	8
Tubería PVC	100 m
Rosca tapón macho	1
Tubería Flex	8m
Varilla corrugada 8mm	8
Asperson Naandan Jain	4
Bomba 1HP	1
Manguera bicapa	2
Válvula roscable	1
Rosca unión	2
Rosca codo	1
Caja Térmica metálica	1
Contactor	1
Siemens LOGO! 230RC	1
Relé Térmico	1
Pulsador N/A	2
Pulsador N/C	2
Luz Piloto	4
Porta fusible	1
Riel	1
Canaleta Ranurada	1
Cable Flexible #16	8 m

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Cable Flexible Sucre #16	2 m
Prensa Estopa	2
Terminal abierto	100
Selector tres posiciones	1
Bloque contacto auxiliar	2
Varilla de cobre	1
Cable sólido #16	3m
Brecker	1
Fusible vidrio	2
Organizador de cable	1

Fuente: Autores

4.4 Diseño eléctrico y de programación [4]

Dentro del desarrollo del documento resumimos los pasos, directrices y componentes del proyecto en cuanto a la parte eléctrica se refiere, centrándonos específicamente en el accionamiento o forma de operar del sistema de aspersión.

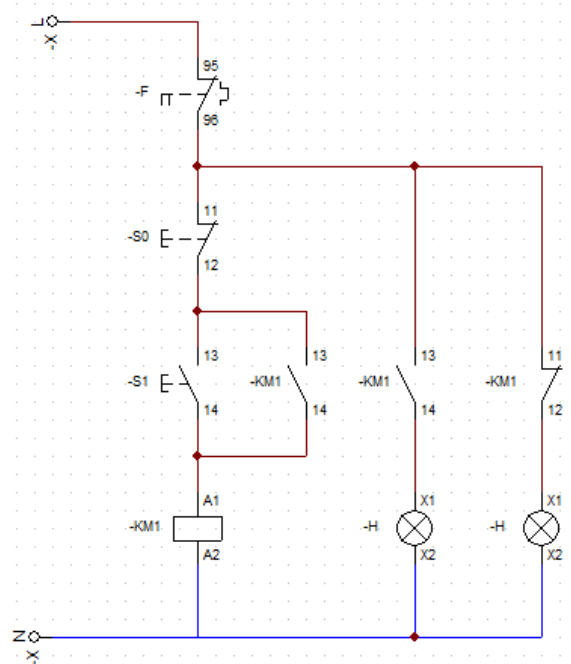
Un mando manual el cual proporcionará al usuario la capacidad de operar el sistema cuando lo desee y un mando automático que realizara las tareas de riego de forma lógica, de acuerdo al estudio agronómico y del requerimiento que el cultivo necesite, que ya se estudiaron y se obtuvieron anteriormente.

Toma importancia el diseño hidráulico para la selección de los equipos de protección, como también para el conductor de la energía que alimentara al motor de la bomba.

Este estudio describe el funcionamiento de los circuitos mencionados y cuál es la actuación/situación de los elementos que en ellos se encuentran, los sistemas manual y automático son totalmente independientes en cuanto tiene que ver al accionamiento de arranque y paro, ídem para señalización.

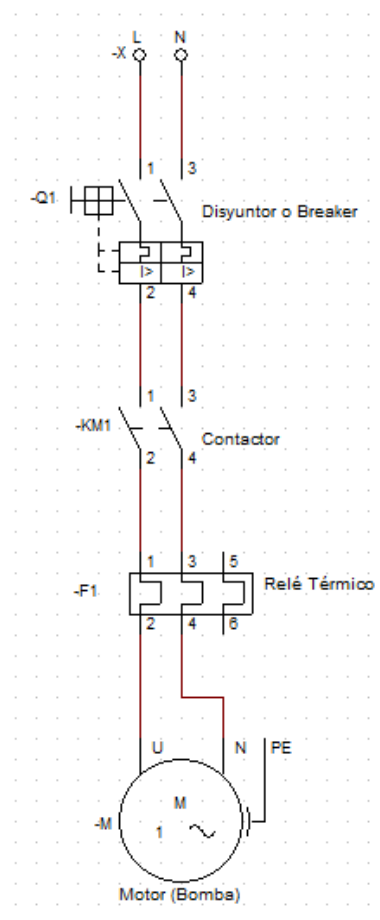
4.4.1 Accionamiento manual. Se necesita el arranque directo de una bomba tal sea el caso que al dar un pulso a un pulsador S1 N/A active a un contactor KM1 y que permanezca encendida, a su vez también se necesita que al dar un pulso a un pulsador S0 N/C se desactive la bomba, con sus respectivas luces piloto indicadoras de posición, rojo en estado OFF y verde en estado ON.

Figura 68. Circuito de mando de arranque directo de la bomba



Fuente: Autores

Figura 69. Circuito de potencia del arranque de la bomba.

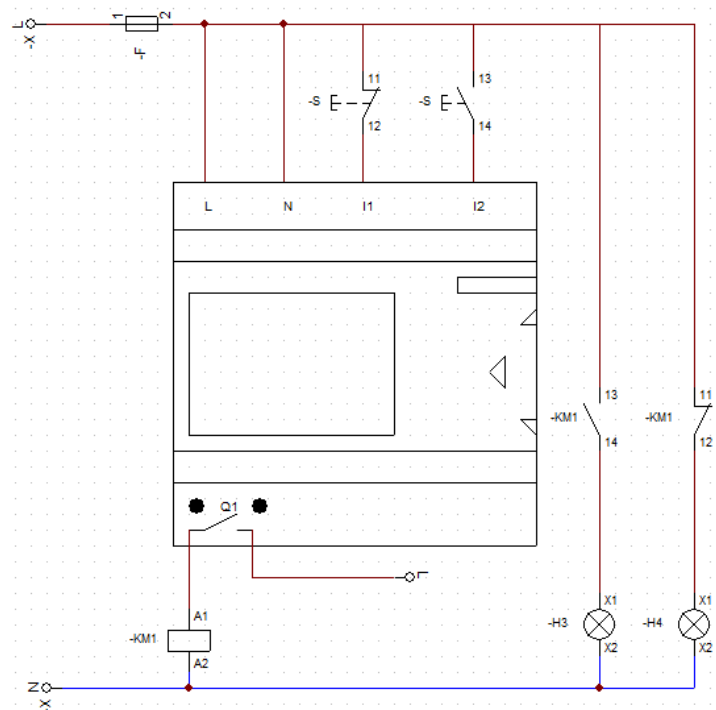


Fuente: Autores

Figura 70. Programa dentro de LOGO! 230RC modo lenguaje FUP (diagrama de funciones)



Figura71. Diagrama de cableado para el sistema automático.



Fuente: Autores

4.5 Construcción del sistema de riego tecnificado por aspersión

Una vez que se ha hecho el estudio completo de todos los factores necesarios procedemos con la implementación de los mismos ya de una manera física en el lugar donde va estar ubicado el sistema de riego.

4.5.1 Adquisición de elementos para la construcción del sistema. Estos procedimientos los realizamos en función de la veracidad de que el sistema fue construido íntegramente desde cero hasta la culminación del proyecto, atravesando etapas de prueba, capacitaciones e inclusión con la sociedad, hasta obtener el resultado deseado.

El sistema está dirigido de manera experimental para que los habitantes y pobladores del sector puedan conocer y especialmente observar los beneficios de contar con este tipo de riegos para el manejo de sus cultivos, los problemas que se encuentran para tratar de poner en marcha campañas son en gran parte por escepticismo que hay y el miedo a invertir en nuevas tecnologías.

Por consiguiente ponemos en marcha la construcción del sistema a partir de lo más básico que es la compra de todos aquellos elementos que son especialmente seleccionados para el riego tecnificado.

Figura 72. Inclusión con la comunidad de San Pedro de la ciudad de Cevallos



Fuente: Autores

Figura 73. Capacitación de manejo de nuevas tecnologías en accesorios para el riego por aspersión



Fuente: Autores

- Elementos de riego (Anexo F).

Figura 74. Accesorios y conectores utilizados en el sistema.



Fuente: Autores

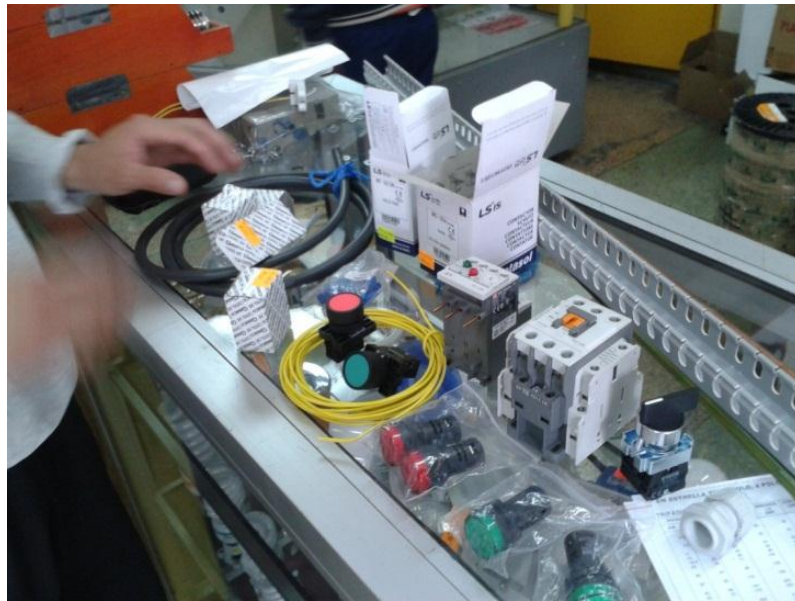
- Elementos eléctricos y de automatización (Anexo F)

Figura 75. Adquisición de diferentes dispositivos utilizados



Fuente: Autores

Figura 76. Relé, contactor, cable, luces piloto, pulsadores, prensa estopa, regletas, riel, etc.



Fuente: Autores

4.5.2 Implementación de los elementos de riego por aspersión. Una vez realizada la adquisición de los diferentes accesorios hidráulicos, eléctricos y mecánicos necesarios para la implementación del sistema, se procedió a iniciar con la construcción de la caja de alojamiento de los aparatos, misma que posteriormente se colocará en un lugar estratégico de la parcela, desde donde se puedan realizar las maniobras posteriores:

Figura 77. Construcción de caja contenedora de la bomba y de los elementos de control del sistema



Fuente: Autores

Seguidamente, se procedió con el anclaje de la bomba en la base de la caja ya que ésta será un elemento fijo y el corazón mismo del sistema.

Figura 78. Anclaje de bomba



Fuente: Autores

A continuación se colocó la red de tuberías primarias y secundarias del sistema, como también la instalación de los distintos elementos de riego como aspersores, conectores, soportes, válvulas, etc., para la respectiva distribución del agua y funcionamiento.

Figura 79. Preparación del terreno para enterrar las tuberías



Fuente: Autores

Figura 80. Conexión desde la tubería secundaria hacia los aspersores



Fuente: Autores

Figura 81. Tee de conexión acoplada desde la tubería principal hacia la tubería secundaria mediante una válvula de bola



Fuente: Autores

Figura 82. Aspersor total NETAFIM ubicado de acuerdo a la distribución seleccionada.



Fuente: Autores

Figura 83. Aspersor sectorial NETAFIM



Fuente: Autores

Una vez concluida la implementación de los ramales del sistema, se procedió a realizar las conexiones respectivas para la succión y de la descarga desde la bomba respectivamente, para luego realizar una conexión eléctrica temporal, que nos permita comprobar el funcionamiento básico del sistema, comprobar que las presiones en los aspersores sean las adecuadas y corregir posibles fugas o accesorios en mal estado.

Figura 84. Succión y descarga conectadas a la bomba centrífuga



Fuente: Autores

Se procedió a enterrar las tuberías y como resultado, el sistema quedó de la siguiente forma.

Figura 85. Sistema hidráulico listo para proceder con las pruebas de funcionamiento de orden manual (Anexo F).



Fuente: Autores

4.5.3 Implementación de los elementos eléctricos y de automatización. Lo siguiente que se realizó fue la preparación de una Caja de Mando en donde irían dispuestos los dispositivos de control, para posteriormente proceder a conectarlos y realizar la Automatización respectiva.

Figura 86. Preparación caja térmica de control



Fuente: Autores

Para ello, se extrajo la base y la puerta de la caja para proceder a realizar los agujeros en donde se ubicarían el selector, los pulsadores de paro y de marcha, las luces piloto y el portafusibles con su respectivo fusible para protección del LOGO! del mando automático.

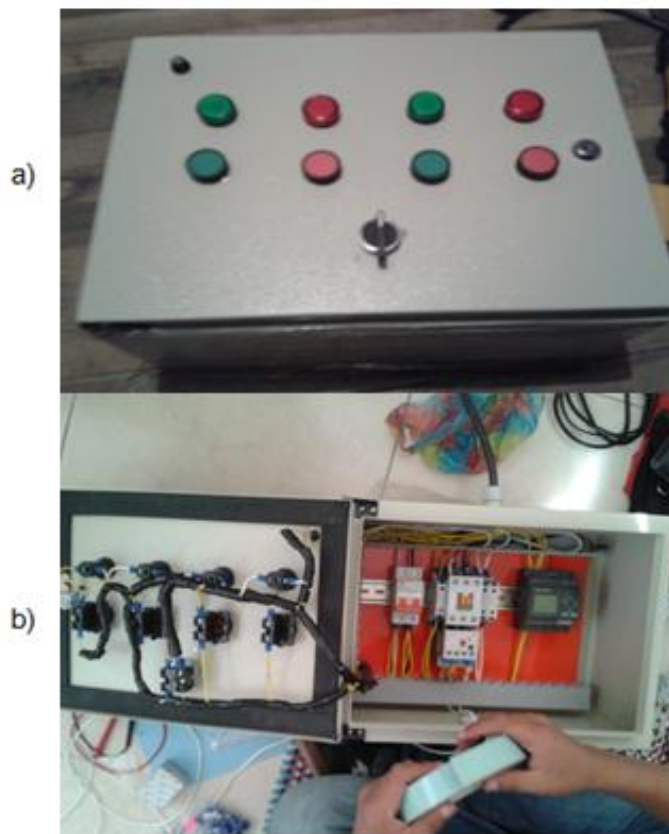
Figura 87. Distintos trabajos realizados en la caja de control (Anexo F)



Fuente: Autores

Una vez realizados los agujeros se procedió a realizar la conexión de los respectivos aparatos de maniobra como son el contactor 110V, el relé térmico bimetálico, el disyuntor térmico, el LOGO! Siemens 230RC y las regletas mediante el respectivo cableado, empleando para ello el diagrama de control diseñado anteriormente.

Figura 88. Caja de Control terminada a) vista externa; b) vista interna



Fuente: Autores

4.6 Pruebas de funcionamiento

Para asegurar el buen funcionamiento del sistema, las pruebas consisten en realizar las mediciones, comprobaciones, dimensionamientos necesarios para que el sistema no falle y que a su vez esté protegido contra cualquier imprevisto que se genere [5]. Para la selección del relé, contactor, cables, etc., se tomaron los datos de placa de la bomba; para asegurarnos de que estos datos son precisos y realizar la correcta selección de estos dispositivos se procede a tomar mediciones con ayuda de una pinza amperimétrica.

Figura 89. Datos de placa de la bomba marca WEG

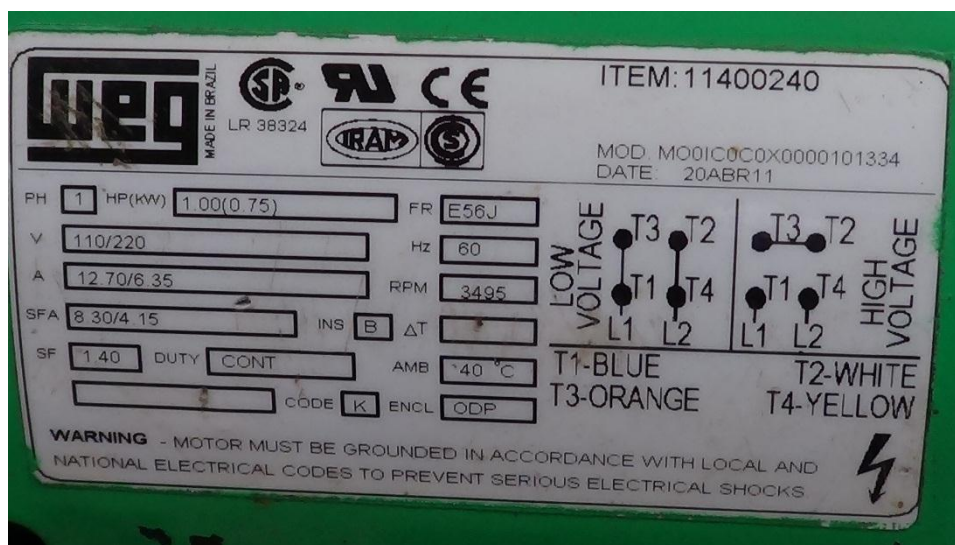


Figura 90. Datos arrojados por la pinza amperimétrica. a) Intensidad de trabajo de la bomba. b) Intensidad de arranque de la bomba



Fuente: Autores

Con estos datos se continuó con la adquisición de los dispositivos antes enumerados, para la construcción final de los mandos tanto manual y automático, con la ayuda de tablas, cálculos y recomendaciones de vendedores del material.

Tabla 26. Selección de equipo LG para protección de motores según IEC 60947 - AC3 duty – UL [6]

SELECCIÓN DE EQUIPO LG PARA PROTECCIÓN DE MOTORES EN ARRANQUE DIRECTO, 4 POLOS, 60 HZ SEGÚN IEC 60947 - AC3 duty - UL

MONOFÁSICO 230V

POTENCIA KW	I HP	FUSIBLE NH AMP	BREAKER LG AMP	CONTACTOR LG TIPO	RELE DIFEREN GTK	CONDUCTOR AWG M.C.M.
0.37	0.5	2.6	4	5	GMC-9	14
0.55	0.75	3.8	10	10	GMC-9	14
0.75	1.0	5.1	10	10	GMC-9	14
1.1	1.5	7.6	16	15	GMC-12	14
1.5	2.0	10.2	20	20	GMC-18	12
2.2	3.0	15.2	32	30	GMC-22	12
3.7	5.0	25.4	50	50	GMC-32	10
5.5	7.5	38.0	80	75	GMC-50	8
7.5	10.0	50.7	100	100	GMC-65	6
11.0	15.0	76.0	160	150	GMC-85	4
15.0	20.0	101.4	200	200	GMC-125	4
22.0	30.0	152.0	250	250	GMC-180	20
30.0	40.0	202.8	400	400	GMC-225	20

MONOFÁSICO 115V

POTENCIA KW	I HP	FUSIBLE NH AMP	BREAKER LG AMP	CONTACTOR LG TIPO	RELE DIFEREN GTK	CONDUCTOR AWG M.C.M.
0.37	0.5	5.1	10	10	GMC-9	14
0.55	0.75	7.6	16	15	GMC-12	14
0.75	1.0	10.2	20	20	GMC-18	12
1.1	1.5	15.2	35	30	GMC-22	12
1.5	2.0	20.4	50	50	GMC-32	10
2.2	3.0	30.4	63	60	GMC-40	8
3.7	5.0	50.7	100	100	GMC-65	6
5.5	7.5	76.0	160	150	GMC-85	4
7.5	10.0	101.4	200	200	GMC-125	4
11.0	15.0	152.0	315	300	GMC-180	20
15.0	20.0	202.8	400	400	GMC-225	20

Fuente: WAYNE, B. Manual de ingeniería eléctrica

4.6.1 Pruebas de funcionamiento en modo manual. Nos centramos en el funcionamiento manual antes descrito para ver que todos los elementos cumplan la función para la cual fueron seleccionados.

Tabla 27. Funcionamiento de dispositivos de control en modo manual

ELEMENTO	ACCIÓN		DETECCIÓN		RESPUESTA	
	Funciona	No Funciona	Problema	Solución	Positiva	Negativa
Bomba	X					
Pulsador arranque	X					
Pulsador de paro	X					
Luz piloto ON	X					
Mangueras*	X					
Luz piloto OFF	X					
Contactor	X					

*La pega no es efectiva al cabo de unos minutos de correcto funcionamiento, las mangueras por la presión que se ejerce se separan y deja correr el fluido de forma incorrecta.

Fuente: Autores

Tabla 28. Funcionamiento de los aspersores en modo manual

Elemento	ACCIÓN		DETECCIÓN		RESPUESTA	
	Funciona	No Funciona	Problema	Solución	Positiva	Negativa
Bomba	X					
Pulsador de arranque	X					
Pulsador de paro	X					
Luz piloto ON	X					
Mangueras*	X					
Luz piloto OFF	X					
Contactor	X					
Relé	X					
Aspersor 1	X					
Aspersor 2		X	No moja el mismo radio que los otros aspersores, filtro de aspersor sucio	Limpiar el filtro de aspersor	X	
Aspersor 3	X					
Aspersor 4	X					
Aspersor 5	X					
Aspersor 6	X					
Aspersor 7	X					
Aspersor 8	X					
Válvulas	X					

Fuente: Autores

El sistema en si funciona de manera correcta la irrigación se efectúa de manera uniforme, se encuentran inconvenientes de adhesión del material de la manguera con

el material de algunos accesorios por cuestiones de tiempo de espera que necesita la pega para secarse y obtener una actuación del pegamento.

A continuación se procede a tomar lecturas de presión en cada uno de los puntos en donde están ubicados los aspersores para comprobar que ésta presión sea constante en todas las salidas.

Tabla 29. Lectura de presiones en las salidas del fluido hacia los aspersores en modo manual.

Ramal #	Lectura (BAR)
1	3.2
2	3.1
3	3.0
4	2.9

Fuente: Autores

El resultado mostrado es favorable sobre las expectativas trazadas al fin de alcanzar el rendimiento que se esperaba para el sistema, en cuestiones de que en toda la parcela sea uniforme el riego y que los elementos soporten imprevistos que pueden presentarse a futuro.

Figura 89. Funcionamiento del sistema e irrigación de la parcela en modo manual.



Fuente: Autores

4.6.2 Pruebas de funcionamiento en modo automático. Si bien el funcionamiento automático debe responder tal cual al funcionamiento manual, pero con la diferencia

de que este funciona sin la intervención del usuario, se procedió a realizar las mismas operaciones ya que la investigación lo exige y también para comprobar que la programación de LOGO! no presente ninguna contradicción. Este procedimiento se lo realiza con los filtros de los aspersores limpios y asegurándonos que no vaya a tener falla por parte de los aspersores.

Gracias a la comprobación de la caja de control con anterioridad a su implementación, a las pruebas de funcionamiento sin carga y a la programación realizada se pudieron obtener los siguientes resultados.

Tabla 30. Funcionamiento de dispositivos en modo automático

Elemento	ACCIÓN		DETECCIÓN		RESPUESTA	
	Funciona	No Funciona	Problema	Solución	Positiva	Negativa
Bomba	X					
Pulsador de arranque	X					
Pulsador de paro	X					
Luz piloto ON	X					
Mangueras	X					
Luz piloto OFF	X					
Contactor	X					
Relé	X					
Aspersor 1	X					
Aspersor 2	X					
Aspersor 3	X					
Aspersor 4	X					
Aspersor 5	X					
Aspersor 6	X					
Aspersor 7	X					
Aspersor 8	X					
Válvulas	X					
LOGO!	X					

Fuente: Autores

De igual manera para asegurarnos que el sistema funciona con las mismas condiciones tomamos las presiones con el mando automático obteniendo datos similares al modo manual.

De ésta forma toda la parte científica, operacional y práctica muestra al fin todo el funcionamiento y capacidad para el cual fue diseñado, exponiéndonos los resultados que en un principio se trazaron.

CAPÍTULO V

5. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

A continuación realizaremos un manual de operación y mantenimiento en base a nuestro sistema tecnificado de riego.

5.1 El riego por aspersión

Es la aplicación de agua a presión en forma de lluvia fina y controlada a los cultivos andinos, aprovechando la topografía del lugar.

5.2 Ventajas de los sistemas de riego por aspersión

- Permite el ahorro del agua, evitando pérdida por evaporación, filtración y desbordamiento en la conducción y distribución del agua, así como en el momento de su aplicación a los cultivos.
- Apropiado para el riego en la agricultura de ladera, evitando la erosión de los suelos y la pérdida de la capacidad productiva de los mismos.
- De fácil operación, siendo manejable por todos los miembros de la familia previamente capacitados.
- Finalmente incrementa los rendimientos productivos de los cultivos al proporcionarles humedad suficiente y oportuna.

5.3 Desventajas de los sistemas de riego por aspersión

- Altos costos de implementación que no están al alcance de la economía campesina familiar.
- Requiere de agua limpia y libre de elementos extraños que puedan malograr los accesorios y equipos que conforman el Sistema de Riego.
- Desigualdad del riego en zonas de fuertes vientos, siendo necesario una buena programación para evitarlos.
- La vida útil del Sistema de Riego instalado requiere de un correcto uso y mantenimiento de todos los componentes del sistema, requiriendo una permanente supervisión del Comité de Riego.

5.4 Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión

La Operación y Mantenimiento de un sistema de riego por aspersión requiere acciones o labores de manejo de cada uno de los componentes del sistema para garantizar un adecuado funcionamiento y asegurar el periodo de vida útil para el cual fue diseñado.

Captación. Es una estructura, que sirve para tomar el agua de un manantial o fuente de agua limpia, con la cual se distribuirá agua a tuberías que se depositará en un reservorio. La captación tiene las siguientes partes:

Sello de protección. Sirve para proteger el agua evitando que entre tierra o cualquier suciedad y hacer entrar a la cámara de recolección.

Cámara de recolección. Espacio donde se recolecta el agua, funciona como cámara de carga para luego ser conducida por las tuberías. El manantial o puquial se forma con el paso del tiempo al entrar el agua de la lluvia en el suelo. Esta agua es limpia y pura.

Canastilla de salida. Es un filtro que se coloca al medio del tubo y evita que regresen piedras o tierra al interior de la tubería.

5.5 Operación de la captación

Al terminar las obras o al finalizar las actividades de mantenimiento se hace funcionar la captación a fin de eliminar microbios, para desinfectar la estructura se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- Se cierra la válvula de salida poco a poco, luego se retira el cono de rebose para que el agua salga por el tubo de limpieza.
- Se limpian las paredes de captación usando una escobilla y agua con cloro.
- Se lava la cámara de recolección para sacar toda la suciedad, usando agua con cloro, se coloca el tubo de rebose, se llena de agua y se tapan los orificios de entrada del agua.
- Se echa mezcla de agua y cloro, luego se deja así por dos horas, luego para sacar todo el agua con cloro se quita el tubo de rebose, de ésta manera se va todo el cloro usado para la desinfección.

- Finalmente se coloca el tubo de rebose y se tapa la cámara de recolección asegurándola con candado. Se recomienda dejar salir el agua por el tubo de rebose durante media hora.
- Se pone operativo la captación de la siguiente forma: se abre la válvula para que pase el agua a la línea de conducción.
- Así el agua que estaba saliendo por el tubo del rebose pasa por la canastilla de salida. De esta manera el agua de manantial empieza a correr por las tuberías de conducción hacia el reservorio.

La captación deja de funcionar cuando:

- Se taponean los orificios de ingreso del agua a la cámara de recolección.
- La cámara de recolección se llena de barro y piedras.
- La válvula de control se oxida o sufre desgaste.

5.6 Cómo realizar el mantenimiento

Todas las semanas verificar que la captación este limpia, si se detecta que está sucia seguir los siguientes pasos:

- Cerrar la compuerta de agua de ingreso, cerrar la válvula de control de salida y sacar el barro acumulado, escobillar y limpiar totalmente la cámara de recolección.
- Cada tres meses limpiar la maleza que se encuentra alrededor de la captación y revisar el cerco de alambre que protege la captación.
- Revisar cómo funciona la válvula girando la mariposa a su posición original y aceitar la válvula para facilitar su funcionamiento.
- Para evitar la oxidación de las compuertas y/o válvulas hay que pintar con pinturas anticorrosivas.

5.7 Cómo funciona la línea de conducción

Antes de poner en funcionamiento la línea de conducción se debe desinfectar la tubería de la siguiente manera: echar una mezcla de agua con cloro a la cámara de

recolección en la cantidad indicada por el capacitador, luego abrir la válvula de salida para llenar la tubería.

- Mantener la mezcla de agua con cloro durante 4 horas.
- Luego sacar el agua con cloro a través de la válvula de purga.
- Cerrar la válvula cuando no se sienta el olor a cloro.

5.8 Reservorio

Son estructuras que sirven para almacenar el agua en horas de la noche y garantizar el riego durante el día. Cuando está integrado directamente al sistema de riego por aspersión, trabaja como cámara de carga. El reservorio elevado tiene los siguientes componentes:

- La cámara de recolección que almacena el agua.
- La tubería de limpia que permite evacuar los sedimentos acumulados en la caja de almacenamiento.
- La caja de válvulas. La válvula sirve para abrir y cerrar el paso de agua.

5.9 Operación del reservorio

Su operación consiste en abrir y cerrar las compuertas de derivación.

5.10 Mantenimiento del reservorio

Cada mes limpiar los cauces del río, riachuelos y acequias cercanos al reservorio porque los charcos pueden dañar el reservorio.

Limpiar y sacar la maleza alrededor de la captación y mantener el reservorio lejos de letrinas, charcos, basuras, abonos y pesticidas, porque ensucian el agua.

Cada seis meses realizar la limpieza del reservorio y la desinfección correspondiente, si encontramos una válvula oxidada es necesario engrasarla, pintarla con pintura anticorrosivo.

Si observamos que alguna válvula presenta fugas, debemos cambiarla; para lo cual es necesita una válvula nueva, adaptadores, brocha, sierra de arco, llave inglesa.

Para evitar el peso del agua por la válvula, se cambia de la siguiente manera:

- a) Se corta la tubería con una sierra de arco y se saca la válvula, se limpia los extremos de la tubería, se echa pegamento a los extremos de las válvulas y adaptadores.
- b) Se une el adaptador con la válvula nueva, se ajusta con una llave inglesa, se echa pegamento a la campana del adaptador, de igual forma se echa pegamento a la espiga de la tubería, se coloca la nueva válvula juntando la campana del adaptador con la espiga de la tubería, una vez asegurada la válvula gira la mariposa a ambos lados.

Después de una hora se suelta el agua, para finalmente abrir la válvula.

5.11 Válvula principal [7]

Es la válvula de control del reservorio o cámara de carga, el manejo de ésta válvula así como de las otras debe hacerse correctamente, abriendo y cerrando de forma gradual para evitar efectos negativos en sus componentes.

El mantenimiento de ésta se realiza con la aplicación de lubricantes y grasas periódicamente.

5.12 Línea de distribución

La línea de distribución, conduce el agua desde el reservorio o cámara colectora hasta los hidrantes de riego.

La línea de conducción generalmente son tubos de PVC y de diferente diámetro puede ser de 2", 4", 6" o más pulgadas.

El tubo se entierra a una profundidad adecuada.

5.13 ¿Cómo trabaja el tubo?

El tubo puede conducir agua a presión o simplemente como un canal.

Se dice que el tubo conduce agua a presión cuando está lleno.

Cuando no conduce a tubo lleno se dice que trabaja como un canal.

5.14 El tubo puede malograrse ¿por qué?

- No está bien enterrado.
- No se ha hecho bien la cama de apoyo y el relleno compactado adecuadamente.
- Se ha caído el talud superior donde se ha instalado el tubo por efecto de las lluvias
- Como el tubo ha quedado descubierto y expuesto a los rayos solares, este puede romperse fácilmente.

5.15 Mantenimiento de la línea de distribución

Para saber si la línea de distribución viene funcionando, es necesario saber cuánta agua sale del desarenador y cuánta agua llega al reservorio.

Recorrer toda la línea de distribución observando cuidadosamente, si se ha presentado alguna filtración.

Levantar muros de contención a fin de proteger la línea de conducción y rellenar la zanja si la tierra se ha erosionado.

Si el tubo se ha roto cambiar inmediatamente con un pedazo de tubo del mismo diámetro.

Primero hacer limpieza del tubo exterior e inferior, hacer campana en uno de los lados, echar pegamento y unir.

5.16 Cámara rompe presión

Como su nombre lo indica será para romper la presión del agua.

Estas estructuras se ubican en cada cierto tramo, cuando la línea de la caída de distribución es fuerte.

Su operación y mantenimiento es similar a la de la captación.

5.17 Válvulas de control

Estas válvulas controlan el ingreso del agua a los diferentes ramales para los turnos de riego, pueden ser válvulas de Ø 4", Ø 3", Ø 2 1/2", Ø 2" y Ø 1 1/2", van colocados en sitios estratégicos de control.

Estas válvulas están protegidas por cajas de concreto simple así como de una tapa metálica para evitar el robo de las mismas.

5.18 Operación de las válvulas

Consiste en abrir y cerrar lentamente para no producir cambios bruscos y pueda colapsar la tubería.

5.19 Mantenimiento de las válvulas de control

Consiste en lubricar y engrasar dichas válvulas, así como pintar las tapas metálicas la cual las protege.

5.20 Válvulas de aire

Son de polietileno de \varnothing 1" ubicados en los puntos más altos de pared y por lo general al inicio de la línea principal o secundaria, Permite eliminar el aire comprimido por el ingreso del agua al interior de las tuberías.

Se encuentran protegidos por cajas de concreto y su tapa metálica.

5.21 Mantenimiento de las válvulas de aire

Se realiza cuando dicha válvulas obstruye debido a los sedimentos que circulan por la red de tuberías por eso es importante realizar el purgado de toda la red tuberías.

Lo primero que se tiene que realizar es cerrar la válvula general/o la válvula de control de los laterales y luego abrirlas válvula de purga para evacuarle agua y así poder darle el mantenimiento adecuado a dicha válvula.

Limpiar la válvula de los posibles cuerpos extraños que ocasionan el mal funcionamiento del sistema, posteriormente colocar la válvula de aire y proceder abrir las válvulas para continuar con el riego.

De igual manera pintar la tapa metálica que protege a la válvula de aire.

5.22 Válvula de purga

Antes de cada aplicación de riego, se debe efectuar el purgado, en las válvulas ubicadas al final de cada línea de distribución, para que los sedimentos y desechos sean expulsados y no interfieran el normal funcionamiento del sistema.

5.23 Operación de las válvulas de purga

Abrir y cerrar la válvula lentamente para no ocasionar cambios bruscos y pueda colapsarlas tuberías, así de ésta manera evacuaremos los materiales que ingresan a la red de tuberías.

5.24 Hidrantes

Los hidrantes son tomas de agua, provista de una válvula de acople rápido de material de polipropileno de \varnothing 1" donde se instalan la línea de riego y que están protegidas por una caja de concreto con tapa metálica.

Es de fácil operación.

La vida útil de los hidrantes sede 5 a 8 años dependiendo del uso y conservación que le del usuario.

5.25 Línea móvil de riego

Son mangueras de polipropileno de 32 mm de diámetro, con accesorios para conectarse a los aspersores.

Conducen el agua a presión desde los hidrantes hasta los aspersores de riego. Estas líneas de riego son móviles es decir cambiando posición en la parcela de acuerdo al avance del riego. Su operación consiste en armar la línea de riego con cuidado evitando doblar la manguera así como colocando los accesorios para el montado de los aspersores.

Para comenzar a regar se debe conectar la llave bayoneta a la válvula de acople rápido. De su operación y mantenimiento adecuado depéndela duración de la línea de riego, por ello:

Antes de conectar la línea de riego al hidrante, se debe de hacer purgado en lo posible también al terminar el riego.

Evitar el ingreso de tierra dentro de la manguera, después de cada uso enrollar en forma circular la manguera evitando que se doble.

5.26 Qué cuidados debo tener al instalar una línea de riego

La distribución de las longitudes de manguera entre aspersor y aspersor, está en función al diseño puede ser entre 16, 20, 24 metros, etc.

La rosca de los accesorios; codos, tres, debe ser hasta el fondo de la manguera para evitar pérdidas de agua.

Todos los accesorios vienen con su respectivo empaque, cuidar de que estos estén en su lugar, porque de lo contrario, se perderá volúmenes considerables de agua.

Sujetar bien el elevador con el trípode.

5.27 Cómo debemos guardar la línea de riego una vez terminado el riego

Primero separar los trípodes junto al elevador de las mangueras.

Enrollar la manguera, cuyo diámetro no sea menor a 1 metro.

5.28 Aspersor de riego

Aplica el agua en forma pulverizada los cultivos, su operación consiste en el montaje que se hace en la línea de riego, instalando el elevador a la altura por encima del follaje del cultivo. Su vida útil depende de mantenimiento conservación. Si el aspersor se encuentra obstruido sacar la boquilla y limpiarla. Cambiar las boquillas cada vez que se desgaste que por lo general ocurre a los 2 años de uso.

5.29 Mantenimiento de un aspersor

Una duración prolongada de un aspersor, depende del mantenimiento que el agricultor haga. Luego de 2 años de uso, las boquillas se desgastan y por tanto es necesario cambiarlas, para evitar mayor descarga de agua.

Es necesario cambiar las juntas de goma cada 2 años.

También es necesario revisar y ajustar el resorte, pueden ser que éstos hayan sufrido estiramiento. Estas acciones se hacen al finalizar la temporada de riego.

Cuando se gasta la manguera en los extremos, cortar el pedazo gastado al fin de evitar la pérdida o fuga de agua.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó un sistema de riego tecnificado por aspersión logrando cumplir los objetivos planteados, siguiendo un proceso de seguimiento en las condiciones climatológicas de la zona, asistiendo a jornadas de capacitación, realizando una investigación profunda de los parámetros requeridos y disponibles del sistema y empleando técnicas nuevas de implementación y automatización,

Mediante el análisis respectivo del suministro hídrico para uso agrícola en el cantón Cevallos, se pudo notar la importancia de dicho recurso para los habitantes que se dedican a realizar actividades agrícolas y sus derivadas, por lo que se planteó a la población, se tome en cuenta la posibilidad de emplear de técnicas alternativas para el riego, como es el caso de los sistemas tecnificados que permitan optimizar el uso del agua y mejorar la producción.

Empleando el software Cropwat8.0 conjuntamente con el hardware LOGO! Siemens 230 RC, se logró diseñar un sistema de control que permita la distribución del agua de acuerdo al tipo de cultivo de la parcela, como es el caso de la alfalfa, según el área como es el caso de las dimensiones de nuestra parcela demostrativa y de acuerdo a las condiciones climatológicas del cantón Cevallos, realizando para ello un seguimiento y un estudio minucioso en las variaciones mensuales del clima.

Para poder obtener mejores resultados en el riego por aspersión, se debe tomar en cuenta todos los parámetros disponibles para el diseño, como son el viento, el agua, el tipo de cultivo, el voltaje de línea, el tipo de suelo, etc., ya que de ellos dependerá la eficiencia y uniformidad de riego, así como el resultado en la producción del cultivo.

Luego de realizar el estudio investigativo correspondiente, se procedió a construir el sistema de riego tecnificado por aspersión, realizando pruebas que nos permitan comprobar su funcionamiento, eficiencia y cumplimiento de los objetivos planteados.

Empleando un módulo lógico programable LOGO! se pudo mejorar relativamente los turnos de riego de acuerdo al tipo de cultivo, ya que de haber empleado un controlador, los riegos hubiesen sido periódicos mediante una frecuencia fija y no de acuerdo a las necesidades de agua del cultivo.

El uso de sistemas tecnificados de riego en nuestro país, es aún un campo poco conocido por los productores agrarios en nuestro país y que de a poco va tomando territorio, mejorando así la producción de los cultivos y optimizando los recursos hídricos disponibles.

Siendo el agua un recurso no inagotable, la utilización de sistemas de riego tecnificados, hace que dicho recurso se emplee cada vez con mayor responsabilidad.

6.2 Recomendaciones

Analizar las ventajas y desventajas que caracterizan a cada una de las diversas posibilidades, puesto que todas ellas han sido diseñadas con el fin de optimizar los recursos disponibles de acuerdo a las necesidades agronómicas, antes de realizar una implementación de riego tecnificado.

Ejecutar la implementación de los sistemas de riego en una etapa previa a la germinación del cultivo, ya que la realización de actividades sobre el suelo durante dicha etapa podría afectar los resultados de producción.

Elaborar un análisis de la disponibilidad del recurso hídrico de la zona en la cual se va a implementar el sistema, previo a la implementación.

Componer para la automatización, un estudio de la disponibilidad eléctrica de la zona y realizar la adquisición de acuerdo a las necesidades de tecnificación.

Limpiar periódicamente los filtros de la succión y la descarga del sistema, así como los filtros individuales de los respectivos aspersores, ya que la presencia de impurezas puede disminuir la eficiencia del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **CASTAÑÓN, G.** Ingeniería del Riego. Utilización Racional del Agua, Editorial Paraninfo S.A., España: Thomson Learning 2000. Págs. 63 - 65.
- [2] **LUQUE, J.** Proyectos Agrícolas de Riego. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina) 2006. Págs. 62 - 69.
- [2] **LUQUE, J.** Proyectos Agrícolas de Riego. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina) 2006. Pág. 116.
- [3] **RAMIREZ, A.** Texto de Fluidos. Riobamba-Ecuador: ESPOCH, 2010. Pág. 16.
- [3] **RAMIREZ, A.** Texto de Fluidos. Riobamba-Ecuador: ESPOCH, 2010. Pág. 23.
- [3] **RAMIREZ, A.** Texto de Fluidos. Riobamba-Ecuador: ESPOCH, 2010. Pág. 37.
- [4] **SANTILLÁN, M.** Control Industrial. 4ta Edición. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2009. Págs. 12 - 63.
- [5] **ASTUDILLO, C.** Electrotecnia I. 2da Edición. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2007. Págs. 71 - 76.
- [6] **WAYNE, B.** Manual de ingeniería eléctrica. 2da Edición. Editorial Mc Graw Hill. México, 1999. Págs. 73 – 95.
- [7] **MATAIX, C.** Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Editorial La Paz, 1994. Págs. 51 - 62

BIBLIOGRAFÍA

ASTUDILLO, C. Electrotecnia I. 2da Edición. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2007.

CASTAÑÓN, G. Ingeniería del Riego. Utilización Racional del Agua, Editorial Paraninfo S.A., España: Thomson Learning 2000.

ISRAELSEN, H. Principios y Aplicaciones del Riego. Editorial Reverté S.A. Israel, 2011.

LUQUE, J. Proyectos Agrícolas de Riego. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina) 2006.

MATAIX, C. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Editorial La Paz. 1994.

MEDINA, J. Riego por Goteo. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 2012.

RAMIREZ, A. Texto de Fluidos. Riobamba-Ecuador: ESPOCH, 2010.

SANTILLÁN, M. Control Industrial. 4ta Edición. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2009.

VERMEINEN, J. Riego Localizado, Editorial Mc Graw Hill. México, 2012.

WAYNE, B. Manual de ingeniería eléctrica. 2da Edición. Editorial Mc Graw Hill. México: 1999.

LINKOGRAFÍA

SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADOS

<http://es.scribd.com/doc/145770473/Riego-Por-Aspersion>

Octubre 15, 2012.

HIDROLOGÍA

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%AD>

Octubre 21, 2012.

AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS AGRARIOS

http://www.ing.unal.edu.co/catedra/2011/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=62

Octubre 26, 2012.

ALTITUD MEDIA DEL CANTÓN CEVALLOS

[http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Ciudades_m%C3%A1s_altas_de_Ecu](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Ciudades_m%C3%A1s_altas_de_Ecuador)
ador

Septiembre 15, 2012.